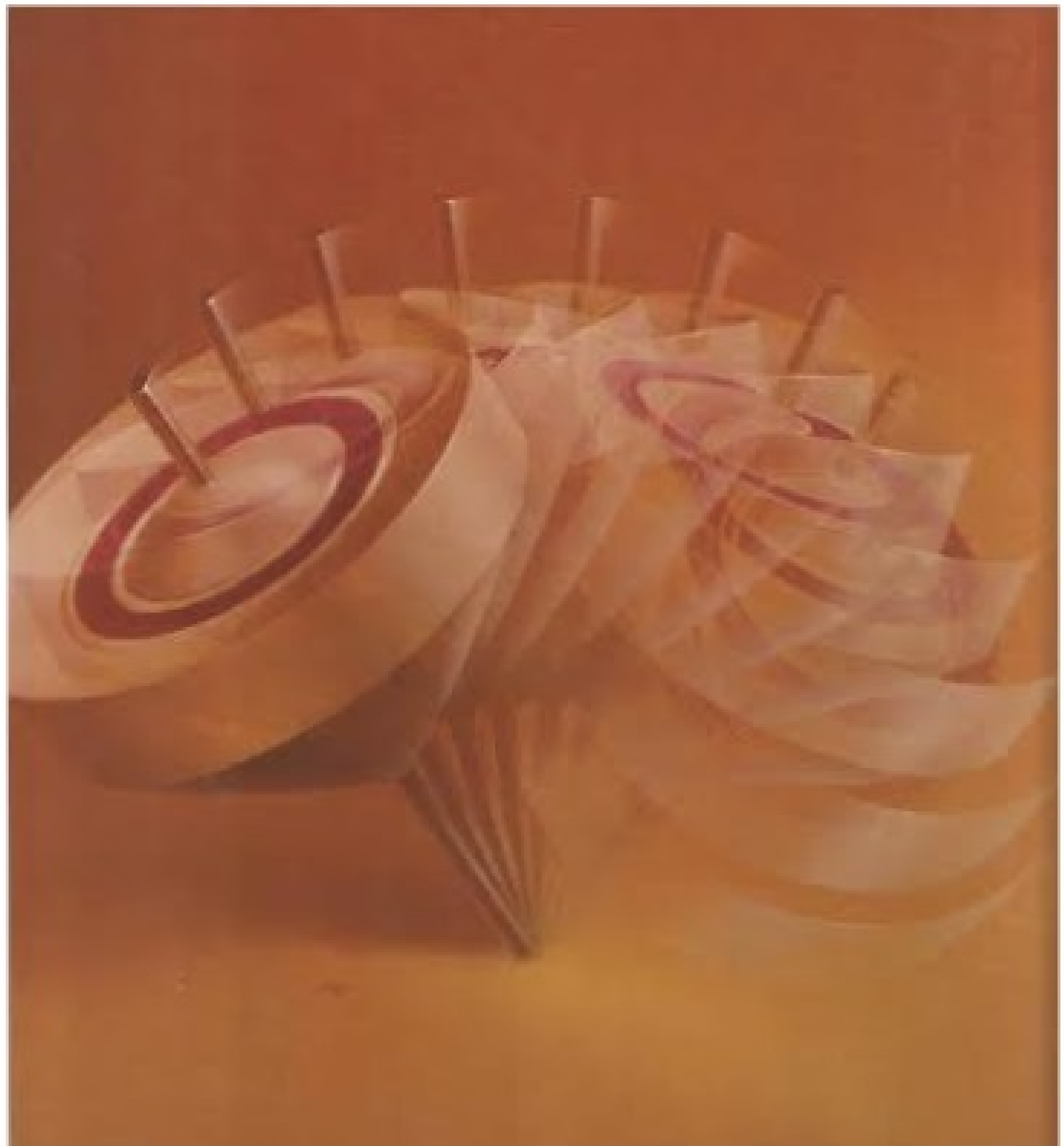


دَائِرَةُ مَعَارِفِ الْقَرْنِ الْحَادِي وَالْعِشْرِينَ
لِلْعُلُومِ وَالتَّكْنُولُوجِيَا الْمُنْتَظَرَةِ وَالطَّبِيعَةِ

3

القُوَى الفِيزِيَاءِيَّةُ

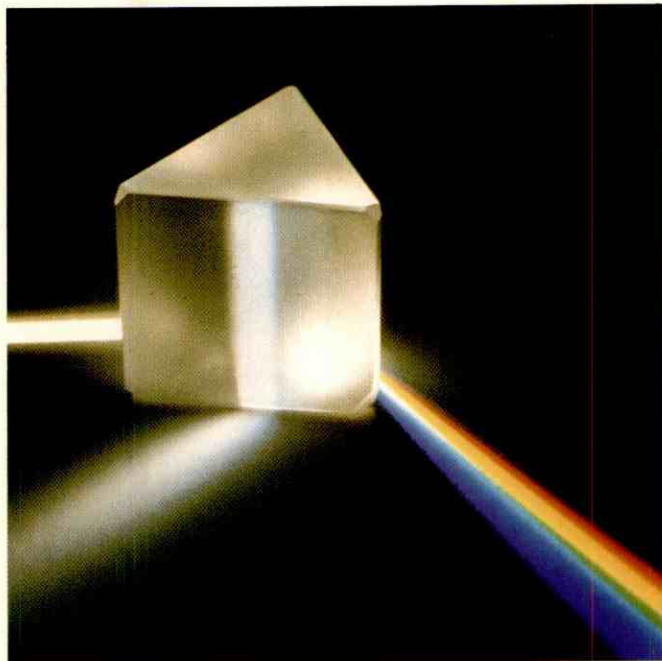
٣



دَائِرَةُ مَعَارِفِ الْقَرْنِ الْحَادِي وَالْعِشْرِينَ
لِلْعُلُومِ وَالتَّكْنُولُوجِيَا الْمُتَطَوِّرَةِ وَالطَّبِيعَةِ



٣ القُوَى الفِيزِيَاءِيَّةُ 3



Mngool.com

الناشرون



دار الكتاب اللبناني
بيروت

دار الكتاب المصري
القاهرة

المحتويات

1 القوة والضغط

- ٤ - ٤
٦ - ٦
٨ - ٨
١٠ - ١٠
١٢ - ١٢
١٤ - ١٤
١٦ - ١٦
١٨ - ١٨
٢٠ - ٢٠
٢٢ - ٢٢
- لِمَاذَا يَكُونُ وَزْنُ الْأَجْسَامِ أَقْلَ عَلَى سَطْحِ الْقَمَرِ ؟
لِمَاذَا تَطْفُو السُّفُنُ ؟
كَيْفَ تَظَلُّ الْبَالُونَاتُ مُعَلَّقَةً فِي الْهَوَاءِ ؟
كَيْفَ يَجْرُ قَارِبٌ وَسَطَ الرِّيحِ ؟
كَيْفَ تُطِيرُ الطَّائِرَاتُ الشَّرَاعِيَّةُ (الْمُنْتَزِلَةُ) الْمَعْرُوفَةُ بِالطَّائِرَةِ الْخَفَاشِ ؟
كَيْفَ يُفْرَأُ الصَّعْطُ الْجَوِّي ؟
كَيْفَ يُطْلَقُ الصَّارُوخُ ؟
كَيْفَ تُكُونُ الدَّوَامَاتِ ؟
لِمَاذَا يَغْلِي الْمَاءُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ عِنْدَ الارتفاعَاتِ الْعَالِيَةِ ؟

2 الجاذبية والحركة

- ٢٤ - ٢٤
٢٦ - ٢٦
٢٨ - ٢٨
٣٠ - ٣٠
٣٢ - ٣٢
٣٤ - ٣٤
٣٦ - ٣٦
٣٨ - ٣٨
- كَيْفَ يَتَحَرَّكُ الْمُنْتَزِلُونَ عَلَى الْجَلِيدِ بِسُرْعَةٍ فَائِقَةٍ ؟
مَا هُوَ الْقُصُورُ الدَّائِي ؟
لِمَاذَا لَا يَسْقُطُ الْأَشْخَاصُ مِنْ قِطَارِ الْمَلَاهِي الْمَقْلُوبِ ؟
كَيْفَ نَجْعَلُ الدَّوَّارَةَ (التَّحْلَةَ) قَائِمَةً ؟
لِمَاذَا نَأْخُذُ كُرَّةَ الْبَيْسَبُولِ مَسَارًا مُنْحِنًا ؟
كَيْفَ تَظَلُّ الْأَقْمَارُ الصَّاعِيَّةُ فِي مَدَارَاتِهَا ؟
كَيْفَ يَمْتَلِئُ رَاكِبُو الْأَمْوَاجِ لَوْحَ الرُّكُوبِ ؟

3 الآلات البسيطة

- ٤٠ - ٤٠
٤٢ - ٤٢
٤٤ - ٤٤
٤٦ - ٤٦
٤٨ - ٤٨
٥٠ - ٥٠
- مَا هِيَ الرُّوَافِعُ ؟
كَيْفَ تَعْمَلُ الْمُسْتَوِيَّاتُ الْمَائِلَةُ ؟
لِمَاذَا تُوجَدُ ثُرُوسٌ فِي الدَّرَاجَاتِ ؟
كَيْفَ تَعْمَلُ الْبَكَرَاتُ ؟
كَيْفَ تَقْيَسُ الرُّبْرُكَاتُ مَقَادِيرَ الْقُوَى ؟

4 درجة الحرارة والحرارة والجزيئات

- ٥٢ - ٥٢
٥٤ - ٥٤
٥٦ - ٥٦
٥٨ - ٥٨
٦٠ - ٦٠
٦٢ - ٦٢
٦٤ - ٦٤
٦٦ - ٦٦
- لِمَاذَا يَظَلُّ الْجَلِيدُ بَارِدًا أَثْنَاءَ انصهاره ؟
كَيْفَ تُقَاسُ دَرَجَاتُ الْحَرَارَةِ شَدِيدَةِ الارتفاع ؟
كَيْفَ تَنْتَشِرُ الْحَرَارَةُ فِي الْمَوَاقِعِ ؟
مَاذَا يَجْعَلُ السُّتْرَةَ الرَّغِيَّةَ بِهَذَا الدَّفْعِ ؟
لِمَاذَا يُخْرِجُ الْمَاءُ فِقَاقِيعَ وَهُوَ يَغْلِي ؟
لِمَاذَا لَا يَخْتَرِقُ الْجِلْدُ فِي حَمَامِ الْهَوَاءِ السَّاحِنِ (السُّونَا) ؟
لِمَاذَا يَتَجَمَّدُ الْمَاءُ مِنْ أَعْلَى ؟

5 الكهربية والمغناطيسية

- ٦٨ - ٦٨
٧٠ - ٧٠
- كَيْفَ يَجْذِبُ الْبِلَاسْتِكُ الْوَرَقَ ؟

72 — ٧٢	كَيْفَ يَتَوَهَّجُ الْمَصْبَاحُ الْكَهْرَبِيُّ ؟
74 — ٧٤	كَيْفَ تَعْمَلُ الْكَهْرَبِيَّةُ ؟
76 — ٧٦	كَيْفَ تُقَاسُ الْكَهْرَبِيَّةُ ؟
78 — ٧٨	لِمَاذَا يَجْذِبُ الْمَغْنَاطُ الْحَدِيدَ ؟
80 — ٨٠	كَيْفَ تُصْنَعُ الْكَهْرَبِيَّةُ مَغْنَاطِيًّا ؟
82 — ٨٢	مَاذَا يَسْمَحُ لِلْكَهْرَبَاءِ بِالسَّرِيانِ ؟
84 — ٨٤	مَا هُوَ شِبْهُ الْمَوْصَلِ ؟
86 — ٨٦	كَيْفَ تُرْسَلُ الْكَهْرَبَاءُ إِلَى الْمَنَازِلِ ؟
88 — ٨٨	كَيْفَ تُنْقَلُ الْمَوْجَّاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ ؟
90 — ٩٠	هَلْ يُمَكِّنُ الْحُصُولُ عَلَى طَاقَةِ أُخْرَى مِنَ الذَّرَّاتِ ؟
92 — ٩٢	مَا هِيَ قُرْطُ الْمُوصَلِيَّةِ (الْمُوصَلِيَّةُ الْفَائِقَةُ) ؟

94 — ٩٤	كَيْفَ يَعْمَلُ مُوَلِّدُ التَّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ ؟
96 — ٩٦	كَيْفَ يَمْدُنَا الْمَاءُ بِالْكَهْرَبَاءِ ؟
98 — ٩٨	كَيْفَ نَسْتَخْدِمُ مَحَطَّاتِ الْقُدْرَةِ الْوَقُودِ الْأَخْضَرِ ؟
100 — ١٠٠	كَيْفَ يُمَكِّنُ تَوْلِيدُ الْكَهْرَبَاءِ مِنَ الطَّاقَةِ الْجَيُوحَرَارِيَّةِ ؟
102 — ١٠٢	كَيْفَ نَسْتَخْدِمُ الرِّيحَ كَمَصْدَرٍ لِلْقُدْرَةِ ؟
104 — ١٠٤	كَيْفَ يُسْتَفَادُ مِنَ قُدْرَةِ الْمَحِيطِ ؟
106 — ١٠٦	كَيْفَ يَعْمَلُ الْمُفَاعِلُ التَّوَوُّيُّ ؟
108 — ١٠٨	كَيْفَ تُوَلَّدُ الْقُدْرَةُ الشَّمْسِيَّةُ ؟
110 — ١١٠	

112 — ١١٢	كَيْفَ تُؤَثِّرُ السُّطُوحُ الْمُنْحَنِيَّةُ عَلَى الضَّوِّ ؟
114 — ١١٤	كَيْفَ تَعْمَلُ الْعَدْسَةُ الْمُكْبِّرَةُ ؟
116 — ١١٦	كَيْفَ تُقَاسُ سُرْعَةُ الضَّوِّ ؟
118 — ١١٨	لِمَاذَا نَرَى فُقَاعَاتِ الصَّابُونِ مَلَوْنَةً ؟
120 — ١٢٠	مَا هُوَ اللَّيْزَرُ ؟
122 — ١٢٢	مَا هُوَ الْهَوْلُوجَرَامُ ؟
124 — ١٢٤	مَاذَا يَخْدُثُ عِنْدَ الْاقْتِرَابِ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوِّ ؟
126 — ١٢٦	

128 — ١٢٨	كَيْفَ يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ ؟
130 — ١٣٠	كَيْفَ يَخْدُثُ الصَّدى ؟
132 — ١٣٢	كَيْفَ تُخْدِثُ التَّعْمَّاتُ ؟
134 — ١٣٤	كَيْفَ تَعْمَلُ آلَاتُ النَّفْخِ الْمَوْسِيقِيَّةُ ؟
136 — ١٣٦	مَا هُوَ تَأْثِيرُ دُوبِلَرِ ؟
138 — ١٣٨	مَا هِيَ الْفَرْقَةُ الصَّوْتِيَّةُ ؟
140 — ١٤٠	كَيْفَ يَتِمُّ صَبْطُ (دُورْنَةُ) الْآلَاتِ الْمَوْسِيقِيَّةِ ؟
142 — ١٤٢	مَا هُوَ نِظَامُ الصَّوْتِ الْمُحِيطِ ؟
144 — ١٤٤	مَا هِيَ الْمُصْطَلَحَاتُ
146 — ١٤٦	

6 توليد الكهرباء

7 أسرار الضوء

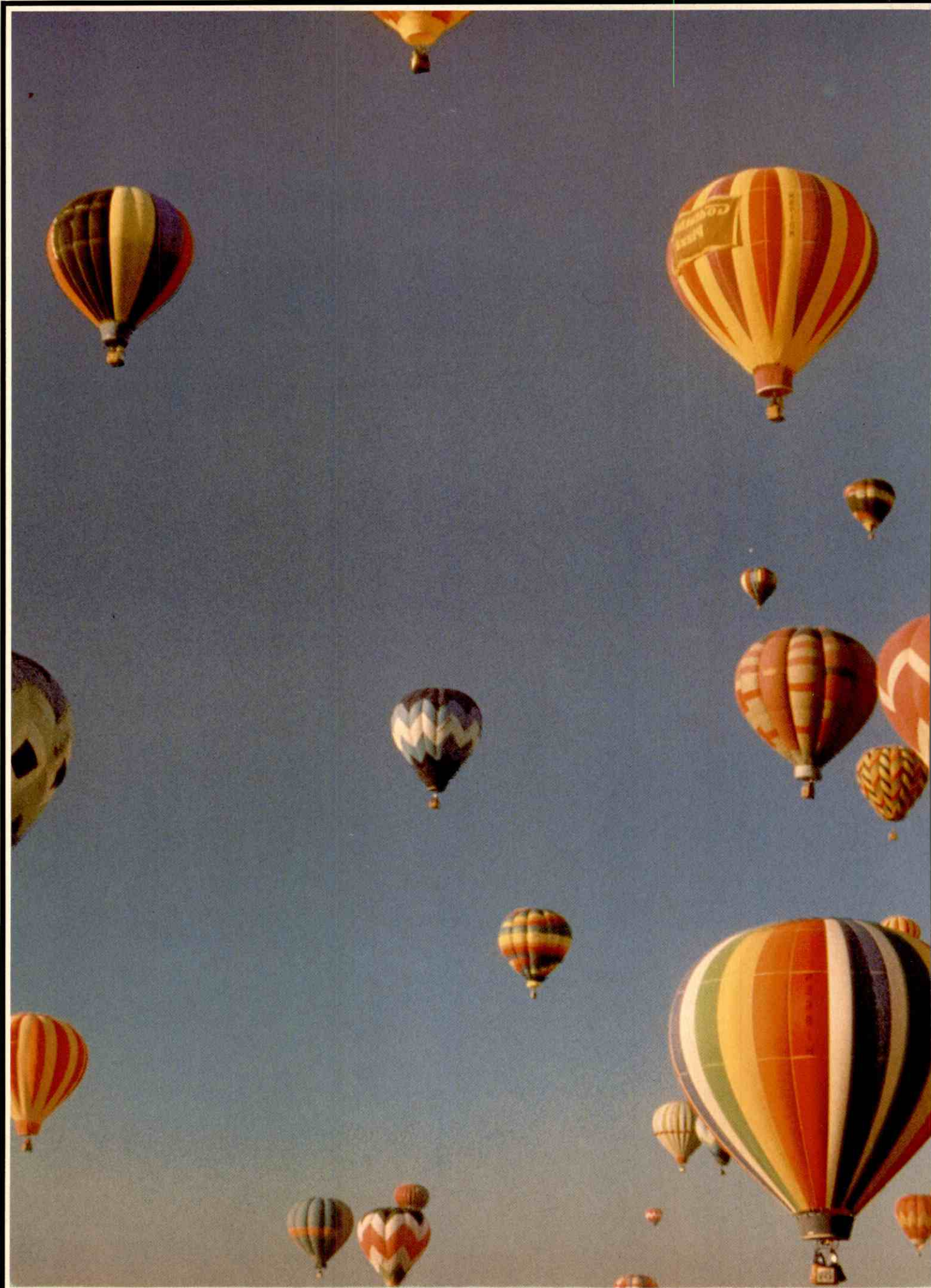
8 فيزياء الصوت

1 القوة والضغط

يُوجَدُ فِي الطَّبِيعَةِ عَدَدٌ مِنَ الْقُوَى الْأَسَاسِيَّةِ الَّتِي تُؤَثِّرُ عَلَى سُلُوكِ الْأَشْيَاءِ بَدَأًا مِنَ الْأَحْجَامِ تَحْتَ الذَّرِّيَّةِ إِلَى الْأَحْجَامِ الْفَلَكِيَّةِ . وَمِنْهَا ، قُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ الَّتِي تُشَكِّلُ نَسِيجَ الْكَوْنِ وَتَحْكُمُ حَرَكَةَ الْمَجَرَّاتِ وَالنُّجُومِ وَالْكَوَاكِبِ . وَيُظْهَرُ وُجُودُ الْجاذِبِيَّةِ بِمَقْيَاسِ الْإِنْسَانِ الْعَادِيِّ فِي الْبَالُونَاتِ وَالْقَوَارِبِ وَالطَّائِرَاتِ وَالصَّوَارِيخِ .

وَالْجاذِبِيَّةُ يُمَكِّنُ قِيَاسُهَا ، مِثْلَ كُلِّ الْقُوَى . وَيُقَيَسُ الْفِيزِيَايُّونَ مِقْدَارَ الْقُوَّةِ بِالْعَجَلَةِ الَّتِي تُكْسِبُهَا لِجِسْمٍ مَا ، أَوْ التَّغْيِيرَاتِ الَّتِي يُحْدِثُهَا فِي حَجْمِ أَوْ شَكْلِ جِسْمٍ مَا . وَلِأَنَّ الْقُوَى لَهَا مِقْدَارٌ وَاتِّجَاهٌ ، فَإِنَّ الْعُلَمَاءَ يُمَيِّزُونَهَا كَكَمِّيَّاتٍ مُتَّجِهَةٍ ، تُمَثَّلُ فِي هَذَا الْكِتَابِ بِأَسْهُمٍ . وَعِنْدَمَا تُؤَثِّرُ الْقُوَى فِي نَفْسِ الْاِتِّجَاهِ ، فَإِنَّ تَأْثِيرَهَا يَزْدَادُ . أَمَّا إِذَا أَثَرَتْ فِي اِتِّجَاهَيْنِ مُتَضَادَّيْنِ ، فَقَدْ يُلْغَى بَعْضُهَا الْبَعْضَ الْآخَرَ ، وَفِي هَذِهِ الْحَالَةِ يُقَالُ إِنَّهَا مُتَزَنَةٌ . وَالْقُوَّةُ الْمُؤَثِّرَةُ فِي مُوَاجَهَةِ سَطْحٍ تُسَمَّى ضَغْطًا ، وَتُقَاسُ طَبَقًا لِمَقْدَارِهَا عَلَى مِسَاحَةٍ مُعَيَّنَةٍ ، مَثَلًا — بِالرُّطْلِ / بُوصَةِ ٢ . وَتَتَعَرَّضُ الْعَارِثَاتُ وَالسَّوَائِلُ وَالْجَوَامِدُ كُلُّهَا لِلضَّغْطِ الْجَوِّيِّ ، وَلَكِنْ لَهَا أَيْضًا ضَغْطٌ دَاخِلِيٌّ بِسَبَبِ تَرْتِيبِ جُزْئِيَّاتِهَا . وَعِنْدَ تَحْلِيلِ الظُّوَاهِرِ الطَّبِيعِيِّ يَأْخُذُ الْعُلَمَاءُ فِي الْاِعْتِبَارِ الْقُوَى الْمُتَعَدِّدَةَ . وَسَيَفْحصُ هَذَا الْكِتَابُ هَذِهِ الْقُوَى ، وَيَشْرَحُ فِي هَذَا الْفَصْلِ كَيْفَ تَتَفَاعَلُ فِيهَا بَيْنَهَا .

فِي الصُّورَةِ (يسار) ، نَرَى الْبَالُونَاتِ الْمُلَوَّنَةَ تُرَيِّنُ ائْسْمَاءَ بَعْدَ أَنْ تَغْلِبَتْ عَلَى قُوَى الْجاذِبِيَّةِ ، لِأَنَّهَا مَمْلُوءَةٌ بِالْهَوَاءِ السَّاحِنِ ، وَهُوَ أَخْفُ مِنَ الْهَوَاءِ الْبَارِدِ الْمُحِيطِ بِالْبَالُونِ .



لماذا يكون وزن الأجسام أقل على سطح القمر ؟

الأشياء أو الأشخاص — مثل رواد الفضاء هؤلاء — تزن على القمر أقل من وزنها على الأرض بسبب ضعف مجال جاذبية القمر . والجاذبية هي قوة أساسية للجذب تنتشر في الكون وتؤثر على كل الأجسام الطبيعية . وقوة التجاذب بين أي جسمين — مثلاً بين كوكب وشخص — يمكن تقديرها بمعرفة كتلة كل منهما والمسافة بينهما . والكتلة مقدار ثابت ، هو كمية المادة التي يحتويها الجسم . أما الوزن ، فهو مقياس لقوة الجاذبية على جسم ما . وكلما كان مجال الجاذبية أقوى ، كلما زاد وزن الجسم ، وأمكن تعجيله أسرع . وكلما ضعف المجال ، قل وزنه وقلت عجلته . ولأن مجالات الجاذبية تتغير بتغير حجم الأشياء التي تحيط بها ، يكون وزن الجسم كمية غير ثابتة .

على القمر ، يقل وزن رائد الفضاء إلى $\frac{1}{6}$ وزنه على الأرض لأن قوة شد الجاذبية عليه تبلغ فقط $\frac{1}{6}$ تلك القوة على الأرض .

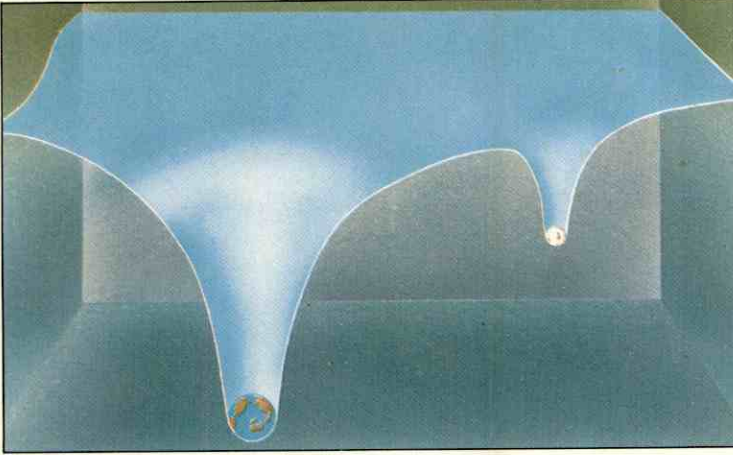
جذب متبادل



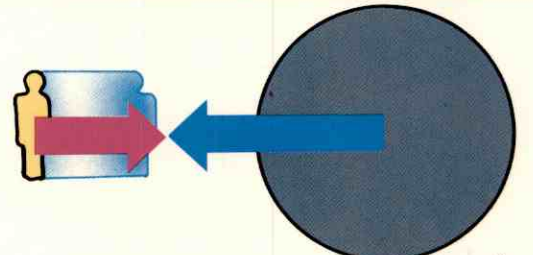
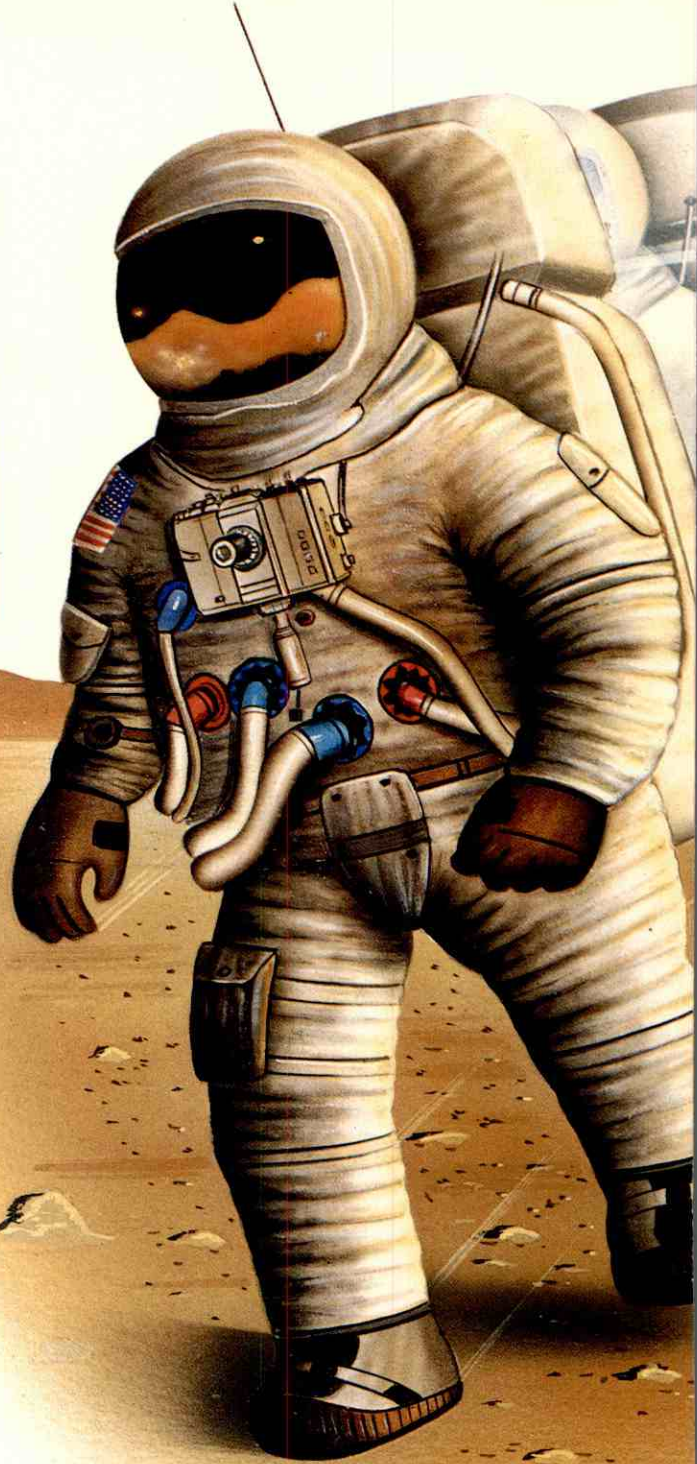
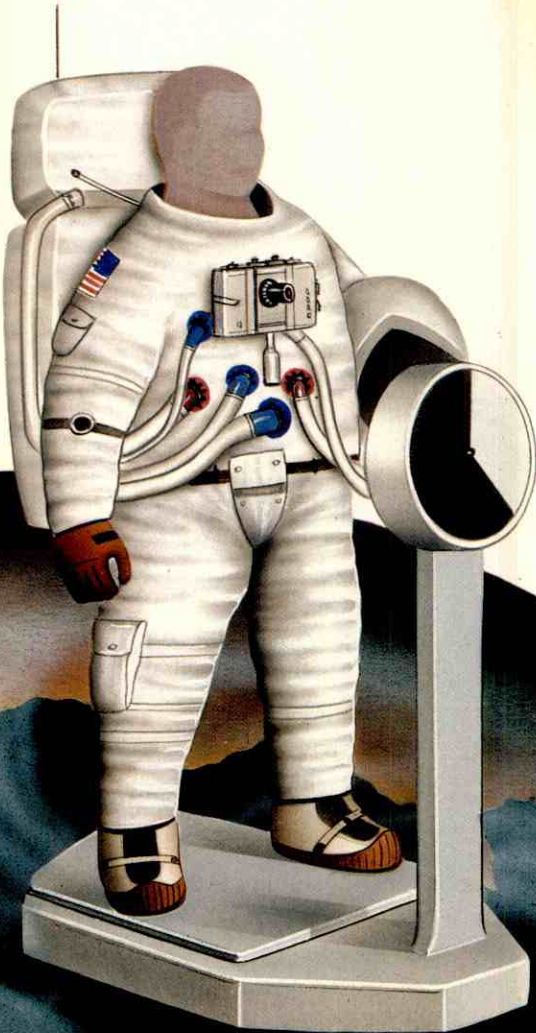
القمر والأرض (أعلى) تؤثر بقوة جذب على الأجسام القريبة من سطحها ، وتؤثر الأجسام بقوة جذب متماثلة تناسب مع كتلتها . فالمسافة بين القمر والشخص (يسار)

مِثْلُ حِجَارَةٍ فِي بَيْتٍ

فِي مَجَالَاتِ الْجاذِبِيَّةِ (أَسْفَلَ) يُؤَثِّرُ الْقَمَرُ (يَسَارَ) بِقُوَّةٍ أَقْلَ مِنَ الْأَرْضِ (يَمِينِ) الْأَكْبَرِ كُثْلَةً . وَالْهُرُوبُ مِنَ الْجاذِبِيَّةِ يُشَبَّهُ بِالْخُرُوجِ مِنْ قَاعِ بَيْتٍ . فَكُلَّمَا زَادَتِ الْجاذِبِيَّةُ ، زَادَ عُمُقُ الْبَيْتِ ، وَزَادَ انْحِدَارُ جَوَانِبِهِ .



الْعُودَةُ مِنَ الْقَمَرِ رَائِدُ الْفَضَاءِ (أَسْفَلَ) يَزِنُ عَلَى الْأَرْضِ ٦ أَمْثَالٍ وَزْنَهُ عَلَى الْقَمَرِ (لَا حِزْ قَرَاءَتِي الْمِيزَانِ) فَقُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ الْأَرْضِيَّةِ أَكْبَرُ مِنَ الْقَمَرِيَّةِ لِكِبَرِ كُثْلَةِ الْأَرْضِ .

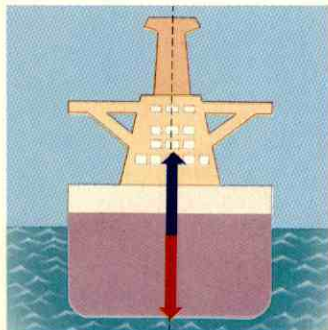
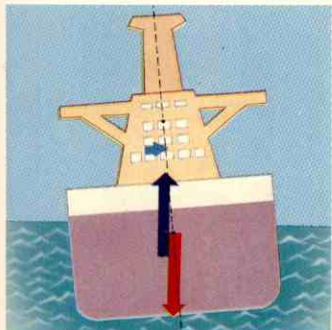


وَكُثْلَةُ الْقَمَرِ الصَّغِيرَةِ تُكُونُ قُوَّةَ جَذْبٍ ضَعِيفَةً ، بَيْنَمَا الْأَرْضُ وَالشَّخْصُ (يَمِينِ) يَكُونَانِ قُوَّةَ جَذْبٍ أَكْبَرَ بِكَثِيرٍ بِسَبَبِ كُثْلَةِ الْأَرْضِ الْكَبِيرَةِ .

لِمَاذَا تَطْفُو السُّفُنُ ؟



تَحْقِيقُ التَّوَاظُنِ

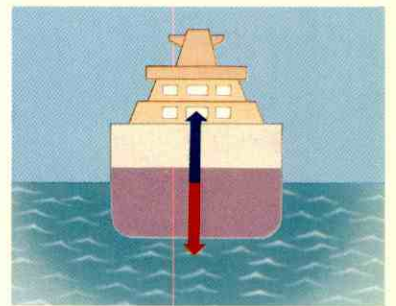


إِذَا مَالَتِ السَّفِينَةُ ، تَزَاوَحُ قُوَّةُ الدَّفْعِ ، وَتَعْمَلُ قُوَّةُ الدَّفْعِ لِأَعْلَى وَقُوَّةُ الْجَذْبِ لِأَسْفَلَ عَلَى اعْتِدَالِ السَّفِينَةِ .

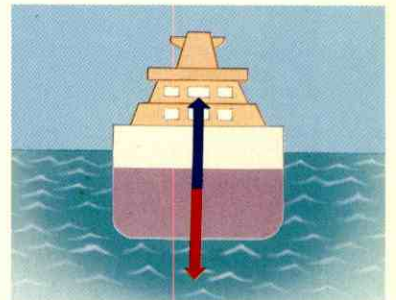
عِنْدَمَا تَطْفُو السَّفِينَةُ مُعْتَدِلَةً ، يَكُونُ مَرَكَزَا الْجاذِبِيَّةِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ عَلَى خَطٍّ وَاحِدٍ . وَتَكُونُ السَّفِينَةُ فِي تَوَازُنٍ .

جاذِبِيَّةٌ صِدِّ قُوَّةِ دَفْعٍ

سَفِينَةٌ خَفِيفَةُ الْحُمُولَةِ يَظْهَرُ مِنْهَا جُزْءٌ كَبِيرٌ فَوْقَ سَطْحِ الْمَاءِ ، لِأَنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ (سَهْمِ أَزْرَقِ) أَكْبَرُ مِنْ قُوَّةِ شَدِّ الْجاذِبِيَّةِ (سَهْمِ أَحْمَرِ) .

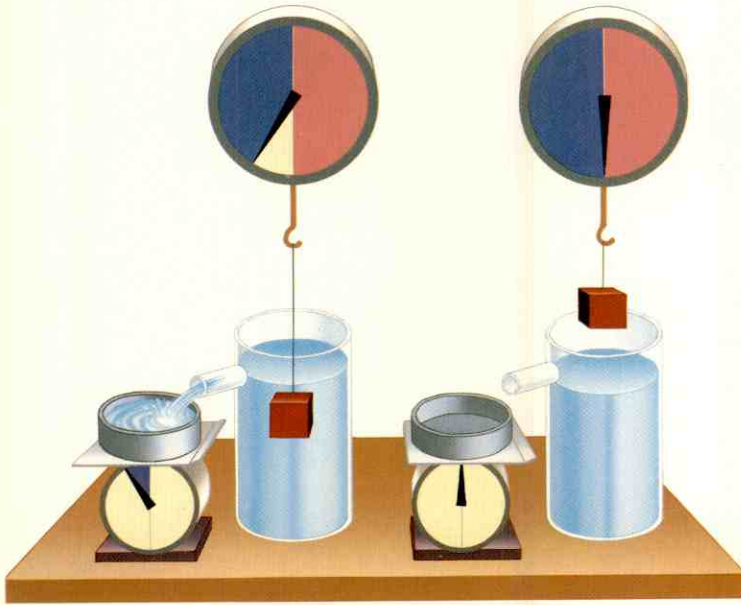


سَفِينَةٌ كَامِلَةُ الْحُمُولَةِ يَغُوصُ جُزْءٌ كَبِيرٌ مِنْهَا فِي الْمَاءِ ، تَزْيِجُ حَجْمًا مِنَ الْمَاءِ أَكْبَرَ مِنْ سَفِينَةٍ خَفِيفَةِ الْحُمُولَةِ .



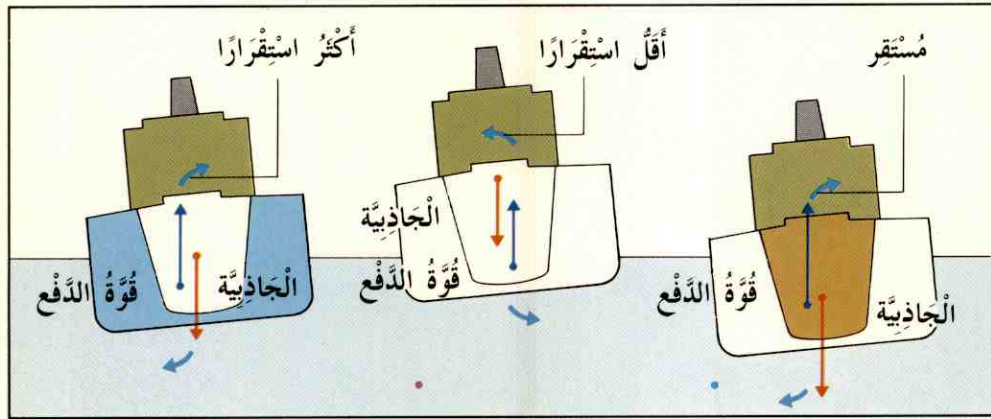
قَاعِدَةُ أَرَشِيمِيدِس

المُكَعَّبُ (أسفل) المَعْلَقُ مِنْ مِيزَانٍ زُنْبُرَكِيٍّ ، يَزِنُ فِي الْمَاءِ (يسار) أَقَلَّ مِنْ وَزْنِهِ فِي الْهَوَاءِ (يمين). وَيَجُلُّ المَكْعَبُ مَجْلً حَجْمٍ مِنَ الْمَاءِ وَزْنُهُ يُعَادِلُ مِقْدَارَ النَقْصِ فِي وَزْنِ المَكْعَبِ . وَقَدْ تَمَكَّنَ الْعَالَمُ الْإِغْرِيقِيُّ أَرَشِيمِيدِسَ لِأَوَّلِ مَرَّةٍ فِي الْقَرْنِ الثَّالِثِ قَبْلَ الْمِيلَادِ ، مِنْ وَصْفِ الْعَلَاقَةِ بَيْنَ حَجْمِ كُتْلَةٍ مَعْمُورَةٍ وَبَيْنَ قُوَّةِ الدَّفْعِ عَلَيْهَا .



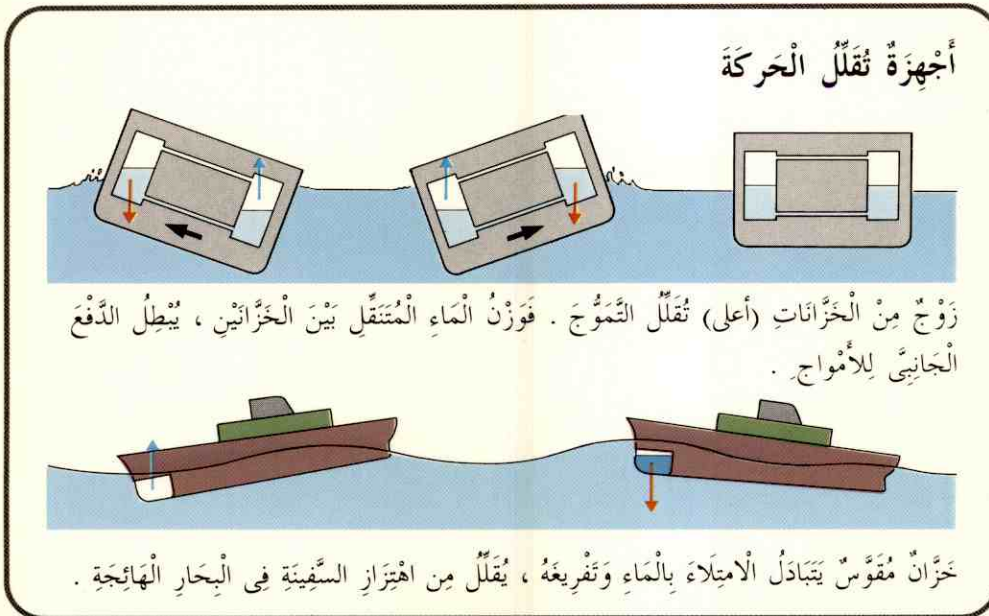
السُّفُنُ وَالْقَوَارِبُ وَالْعَوَامَاتُ وَالْأَجْسَامُ الْأُخْرَى تَطْفُو بِسَبَبِ قُوَّةِ دَفْعِ الْمَاءِ مِثْلَ كُلِّ السَّوَائِلِ ، فَإِنَّ المَحِيطَ يُؤَثِّرُ بِقُوَّةِ ضَغْطٍ إِلَى أَعْلَى ، قَدْ تَدْعَمُ الْأَجْسَامَ الْجَامِدَةَ الْمَوْضُوعَةَ عَلَيْهِ . وَفِي حَالَةِ السُّفُنِ ، يُرَاعَى عِدَّةُ عَوَامِلَ ، تَشْمَلُ كَثَافَةَ وَشَكْلَ الْجِسْمِ الطَّافِي وَطَرِيقَةَ مَقَاوِمَتِهِ . وَعُمُومًا فَإِنَّ السَّفِينَةَ تَطْفُو إِذَا كَانَ وَزْنُ الْمَاءِ الَّذِي تَحِلُّ مَحَلَّهُ السَّفِينَةَ يَزِنُ أَكْثَرَ مِنْ وَزْنِ السَّفِينَةِ كُلِّهَا . فَإِنَّ قُوَّةَ دَفْعِ الْمَاءِ لِأَعْلَى عَلَى جِسْمِ السَّفِينَةِ تَتَغَلَّبُ عَلَى قُوَّةِ جَذَبِ الْأَرْضِ لَهَا إِلَى أَسْفَلِ وَالتّي تُؤَثِّرُ عِنْدَ نُقْطَةِ تَسْمَى مَرَكَزُ ثِقَلِ الْجِسْمِ . وَيُقَالُ إِنَّ السُّفُنَ مُسْتَقَرَّةٌ ، إِذَا صَدَمَتْهَا قُوَى مِثْلَ الرِّيحِ أَوْ الْأَمْوَاجِ ثُمَّ عَادَتْ إِلَى وَضْعٍ مُتَزِينٍ . وَإِذَا كَانَ تَصْمِيمُ السَّفِينَةِ أَوْ تَحْمِيلُهَا خَطَأً ، فَإِنَّ ذَلِكَ قَدْ يُوَدِّي إِلَى عَدَمِ اسْتِقْرَارِهَا ، وَقَدْ تَغْرُقُ .

اِنْتِقَالُ مَرَكَزِ الثَّقَلِ



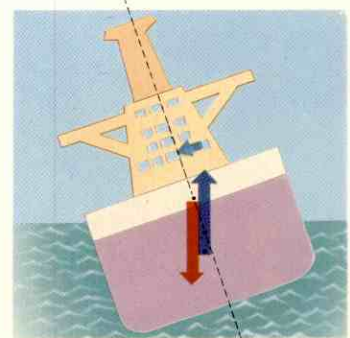
هَذِهِ الْمَنَاطِرُ الثَّلَاثَةُ تُبَيِّنُ كَيْفَ يَتَأَثَّرُ اسْتِقْرَارُ السَّفِينَةِ بِحُمُولَتِهَا . فَالْحُمُولَةُ الْكَامِلَةُ لِلْسَّفِينَةِ تُقَرِّبُ مَرَكَزِي الثَّقَلِ وَقُوَّةَ الدَّفْعِ (يسار)، فَتَكُونُ السَّفِينَةُ مُسْتَقَرَّةً . فَإِذَا أَثَّرَتْ عَلَيْهَا الْأَمْوَاجُ ، سَرْعَانِ مَا تَسْتَعِيدُ اعْتِدَالَهَا . وَفِي السَّفِينَةِ الْفَارِغَةِ (وسط) تَبَاعَدُ مَرَكَزَا الثَّقَلِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ ، وَأَصْبَحَتِ السَّفِينَةُ غَيْرَ مُسْتَقَرَّةٍ .

أَجْهَرَةُ ثَقُلُّ الْحَرَكَةِ



زَوْجٌ مِنَ الْخَزَائِنِ (أعلى) ثَقُلُّ التَّمَوُجِ . فَوَزْنُ الْمَاءِ الْمُنْتَقِلِ بَيْنَ الْخَزَائِنِ ، يُبْطِلُ الدَّفْعَ الْجَانِبِيَّ لِلْأَمْوَاجِ .

خَزَانٌ مُقَوَّسٌ يَتَبَادَلُ الْإِمْتِلَاءَ بِالْمَاءِ وَتَفْرِيعُهُ ، يُقَلِّلُ مِنْ اهْتِرَازِ السَّفِينَةِ فِي الْبَحَارِ الْهَائِجَةِ .



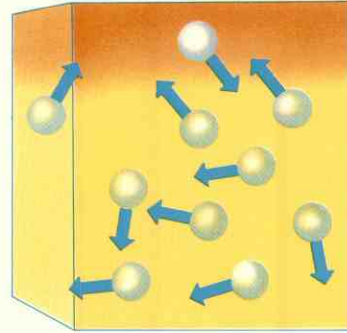
إِذَا تَحَرَّكَ مَرَكَزُ جاذِبَةِ سَفِينَةٍ مَائِلَةً ، كَثِيرًا إِلَى أَعْلَى وَبَعِيدًا عَنْ مَرَكَزِ قُوَّةِ الدَّفْعِ ، انْقَلَبَتِ السَّفِينَةُ .

كَيْفَ تَظَلُّ الْبَالُونَاتُ مُعَلَّقَةً فِي الْهَوَاءِ ؟

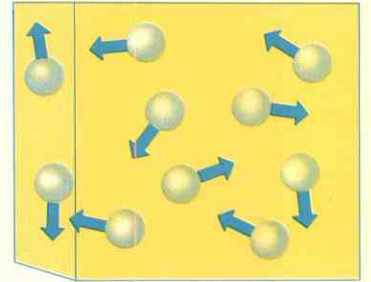
تَرْتَفِعُ الْبَالُونَاتُ لِأَنَّ الْغَارَ الَّذِي يَمْلؤها أَخَفُّ مِنَ الْهَوَاءِ الْمُحِيطِ بِهَا . وَهَنَّاكَ غَارَاتٌ كَثِيرَةٌ أَقْلُ كَثَافَةِ مِنَ الْهَوَاءِ ، مِثْلُ الْهَيْدْرُوجينِ وَالْهِيلِيُومِ . وَمَعْنَى هَذَا أَنَّهُ عِنْدَ حَرَارَةٍ مُعَيَّنَةٍ تَكُونُ كُثْلَةُ حَجْمٍ مُعَيَّنٍ مِنْهَا أَقْلُ مِنْ كُثْلَةِ نَفْسِ الْحَجْمِ مِنَ الْهَوَاءِ . فَإِذَا مَلَأَ الْبَالُونُ بِمِثْلِ هَذِهِ الْغَارَاتِ ، فَإِنَّهُ يَرْتَفِعُ مَا دَامَ الْوِزْنُ الْكُلِّيُّ لِلْغِلَافِ وَالْمَقْصُورَةِ وَالشَّحْنَةِ وَالْجِبَالِ أَقْلُ مِنْ وَزْنِ الْهَوَاءِ الَّذِي يَحِلُّ مَحَلَّهُ الْبَالُونُ . (يَنْطَبِقُ عَلَى هَذِهِ الْحَالَةِ قَاعِدَةُ أَرْشِمِيدِسَ بِاعْتِبَارِ الْبَالُونِ طَافِيًا فِي الْهَوَاءِ) . وَالْهَوَاءُ السَّاحِنُ أَقْلُ كَثَافَةً مِنَ الْهَوَاءِ الْبَارِدِ ، لِذَا يَرْتَفِعُ أَيْضًا . وَرَغْمَ أَنَّ الْهَوَاءَ السَّاحِنَ لَيْسَ خَفِيفًا مِثْلَ بَعْضِ الْغَارَاتِ ، إِلَّا أَنَّهُ آمَنُ وَسَهْلُ الْإِتِّجَاعِ بِمَوَاقِدِ الْبُرُونَانِ الَّتِي تُوضَعُ تَحْتَ فُوهَةِ غِلَافِ الْبَالُونِ ، الَّذِي يُصْنَعُ عَادَةً مِنْ مَادَّةٍ خَفِيفَةٍ الْوِزْنِ مِثْلِ الْتَايْلُونِ غَيْرِ الْقَابِلِ لِلتَّمَزُّقِ . وَتَظَلُّ الْبَالُونَاتُ الْهَوَاءِ السَّاحِنِ طَافِيَةً عِدَّةَ سَاعَاتٍ عَادَةً ، وَلَكِنْ إِذَا لَمْ يَتَمَّ إِمْدَادُهَا بِهَوَاءٍ سَاحِنٍ إِضَافِيٍّ دَاخِلَ الْغِلَافِ ، فَإِنَّهَا تَهْبِطُ تَذَرِيحًا .

٣ — يُحَافِظُ الْمَلَاخُونَ عَلَى الارتفاعِ بَأَن يَزِيدُوا قُوَّةَ الدَّفْعِ بِإِعَادَةِ إِشْعَالِ الْمَوَاقِدِ . وَمَا دَامَ الْهَوَاءُ دَاخِلَ الْغِلَافِ أَسْحَنَ مِنَ الْخَارِجِيِّ ، فَإِنَّ قُوَّةَ الدَّفْعِ تَتَغَلَّبُ عَلَى الْجاذِبِيَّةِ .

٢ — الْهَوَاءُ الْخَفِيفُ السَّاحِنُ (تَحْتَ) يَرْتَفِعُ دَاخِلَ الْغِلَافِ ثُمَّ يَنْسَابُ إِلَى أَسْفَلِ الْجَوَانِبِ . فَيَخْرُجُ الْهَوَاءُ الْبَارِدُ مِنْ فُوهَةِ الْبَالُونِ . وَيَقِلُّ وَزْنُ الْبَالُونِ ، فَيَرْتَفِعُ .

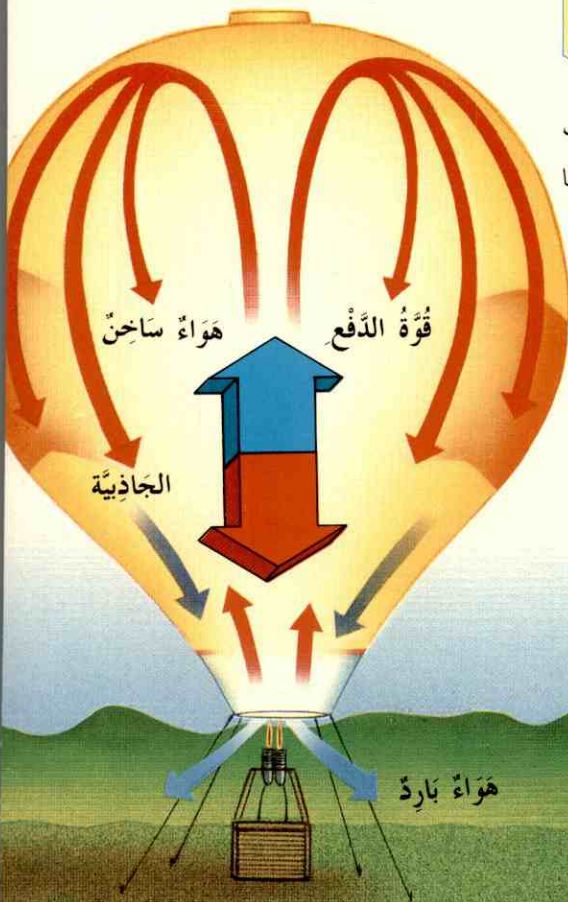


إِذَا سَحَّنَ الْهَوَاءُ ، تَتَحَرَّكُ الْجُزْئِيَّاتُ بِسُرْعَةٍ وَتَتَبَاعَدُ ، فَتَشْعَلُ حَجْمًا أَكْبَرَ .

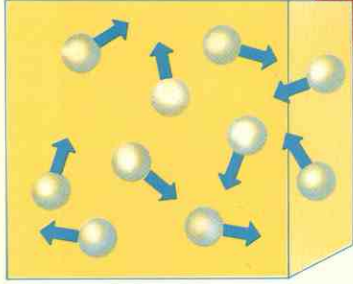


عِنْدَمَا يَكُونُ الْهَوَاءُ بَارِدًا ، تَتَحَرَّكُ الْجُزْئِيَّاتُ بِيُطَاءٍ ، وَتَتَقَارَبُ .

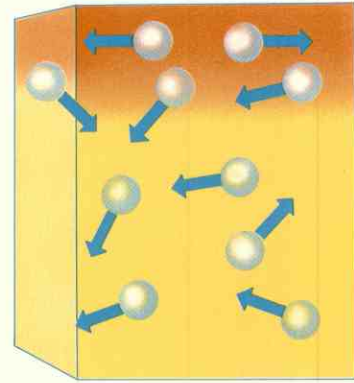
١ — بَالُونٌ يَرْفُذُ عَلَى جَانِبِهِ ، وَمَوْقِدُ بُرُونَانٍ يُسَحِّنُ الْهَوَاءَ دَاخِلَهُ ، فَيَنْتَفِخُ الْغِلَافُ وَيَرْتَفِعُ فِي الْهَوَاءِ .



٤ - يَهْبِطُ الْبَالُونُ عِنْدَمَا يَبْرُدُ
هَوَاؤُهُ وَيَنْكَمِشُ . وَيَسْتَطِيعُ
الْمَلَّاحُونَ إِسْرَاعَ عَمَلِيَّةِ الْهَبُوطِ
بِإِخْرَاجِ الْهَوَاءِ السَّاحِنِ مِنْ فَتْحَةِ
أَعْلَى الْبَالُونِ .



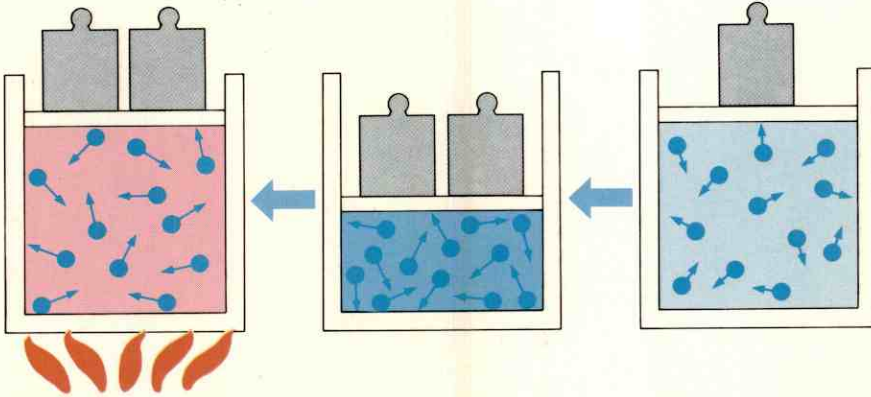
بِالتَّبريدِ ، تُبْطِئُ الْجُزْئِيَّاتُ ، وَيَقِلُّ
الْحَجْمُ ، فَتَزْدَادُ الْكثَافَةُ .



بِاسْتِمْرَارٍ تُسَخِّنُ الْهَوَاءَ فَإِنَّهُ
يَتَمَدَّدُ ، وَيُصْبِحُ أَقْلَ كَثَافَةً .

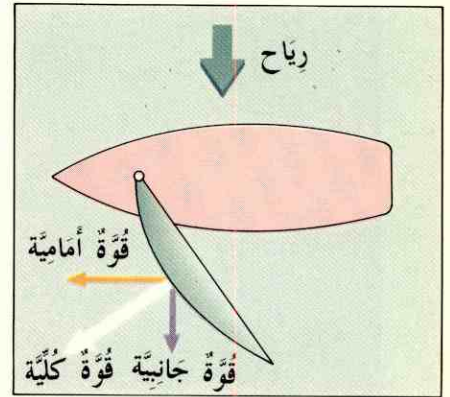
عَلَاَقَةُ ثَلَاثِيَّةٌ

يُرْتَبِطُ ضَعْفُ وَحَجْمُ وَدَرَجَةُ حَرَارَةِ الْغَازِ
مَعًا . عِنْدَ دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْغُرْفَةِ (الرَّسْمِ
الْأَقْرَبِ) يَتَوَلَّدُ ضَعْفٌ مُعَيَّنٌ دَاخِلَ إِنَاءِ
نَتِيجَةَ حَرَكَةِ جُزْئِيَّاتِ الْهَوَاءِ . فَإِذَا انْقَصَ
الْحَجْمُ إِلَى النِّصْفِ (الْأَوْسَطِ) فَإِنَّ الضَّغْطَ
الْدَّاخِلِيَّ يَتَضَاعَفُ . وَإِذَا سَخَّنَ الْهَوَاءُ
(الْبَعِيدَ) يَزْدَادُ ضَعْفُهُ وَيَزْدَادُ حَجْمُهُ بِنِسْبَةِ
الزِّيَادَةِ فِي دَرَجَةِ الْحَرَارَةِ .

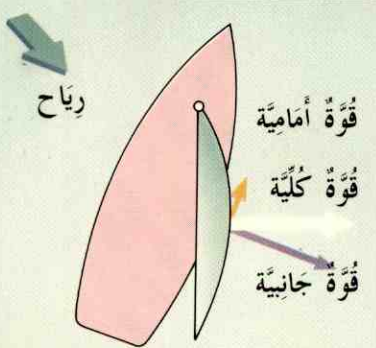


كَيْفَ يَجْرُ قَارِبٌ وَسَطَ الرِّيحِ ؟

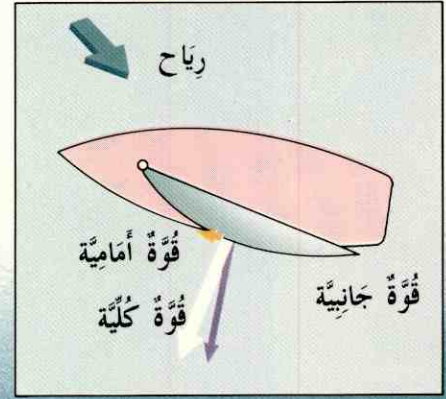
القَارِبُ الشَّرَاعِيُّ الْمُسَافِرُ فِي اتِّجَاهِ الرِّيحِ يُوَاجِهُ ضَغْطًا بَسِيطًا عَلَى شِرَاعِهِ بِوَاسِطَةِ الرِّيحِ فَتَدْفَعُ جِسْمَ الْقَارِبِ . أَمَّا الْإِبْحَارُ صِدِّ الرِّيحِ فَيُعَرِّضُ الشَّرَاعَ لِمَجْمُوعَةٍ مُعَقَّدَةٍ مِنَ الْقُوَى كَمَا كَشَفَتْ دَرَاسَاتُ الْأُنْفَاقِ الْهَوَائِيَّةِ . فَعِنْدَمَا يَمُرُّ الْهَوَاءُ فِي مُحَاذَةِ الْجَانِبِ الْخَلْفِيِّ الْمَقْعَرِّ لِلشَّرَاعِ ، فَإِنَّهُ يُنْطَبِئُ بَيْنَمَا يُسْرِعُ الْهَوَاءُ حَوْلَ الْجَانِبِ الْأَمَامِيِّ الْمُنْتَفَخِ . وَهَذَا يُكَوِّنُ مِثْلَ ضَغْطٍ عَالٍ خَلْفَ الشَّرَاعِ ، وَمِثْلَ ضَغْطٍ مُنْخَفِضٍ أَمَامَهُ . وَالْفَرْقُ بَيْنَ الضَّغْطِ عَلَى الْجَانِبَيْنِ يُسَبِّبُ حَرَكَةً تَدْفَعُ الْقَارِبَ إِلَى الْأَمَامِ بِزَاوِيَةٍ مَعَ اتِّجَاهِ الرِّيحِ .



قَارِبٌ مُؤْضِعٌ عَمُودِيًّا تَقْرِيْبًا عَلَى اتِّجَاهِ الرِّيحِ ، يَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ إِلَى الْأَمَامِ . وَيَتَعَرَّضُ الْقَارِبُ لِقُوَى أَمَامِيَّةٍ وَجَانِبِيَّةٍ . وَيَتَحَرَّكُ فِي اتِّجَاهِ الْقُوَى الْكُلِّيَّةِ .

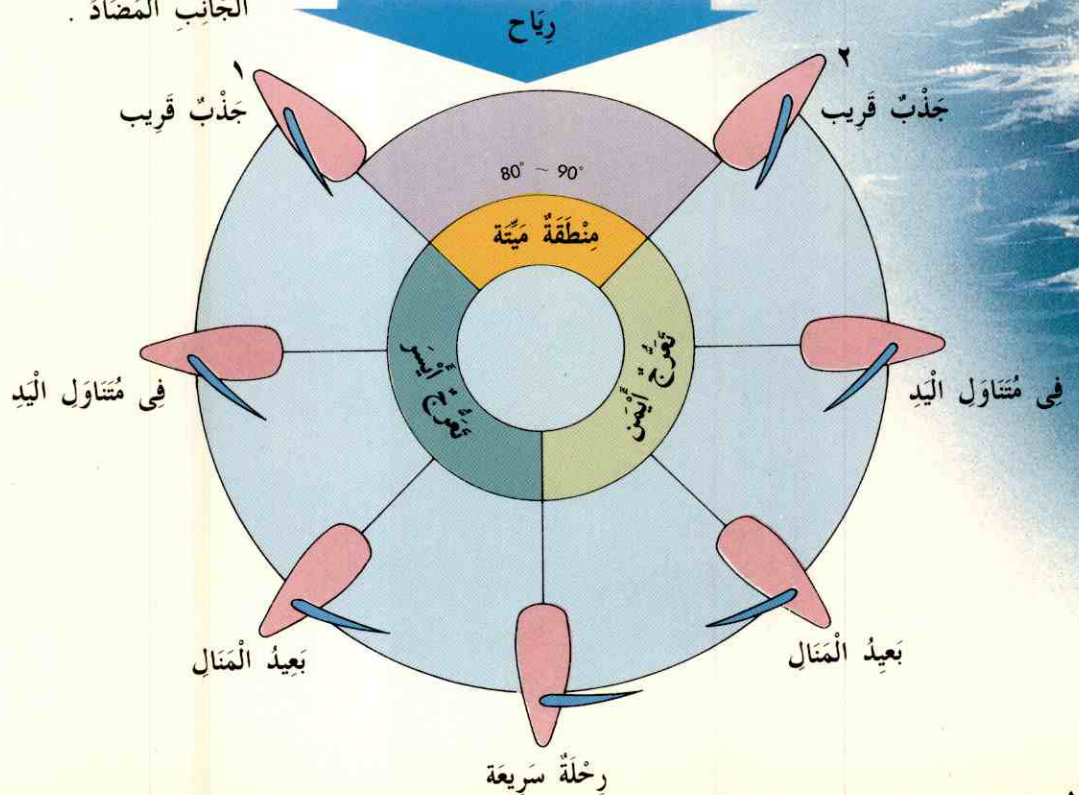
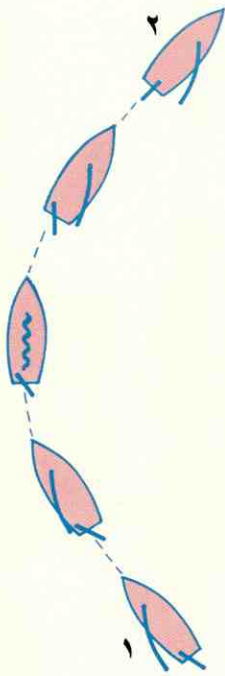


الْقَارِبُ يُنْطَبِئُ إِذَا تَحَرَّكَ مُبَاشَرَةً وَسَطَ الرِّيحِ تَقْرِيْبًا ، لِأَنَّ الْقُوَى الْأَمَامِيَّةَ تَقِلُّ ، وَالْقُوَى الْجَانِبِيَّةَ تَزِيدُ . ١٢



كلما اقترب الشراع من مؤخرة القارب، كلما زاد بطء تقدم القارب. ومن أسباب هذا، زيادة القوة الجانبية.

التعرج وسط الرياح، لا يمكن لأي قارب أن يتحرك مباشرة وسط الرياح، ولكنه يتقدم في سلسلة من الحركات القصيرة المنحرفة تسمى حركات متعرجة. والهواء الذي يهب فوق الجانب الأيسر يحدد الحركة المتعرجة اليسرى، وفوق الجانب الأيمن الحركة المتعرجة اليمنى. ولاتباع أسرع المسارات، فإن البحار يحاول ضبط أوضاع الشراع (أسفل). ولتقليل المسافة التي يخرج فيها القارب عن الخط المستقيم، فإن القارب يتحرك بحركة متعرجة يساراً ويميناً. وعندما يغير القارب اتجاهه، فإن الشراع يتذبذب بالعرض، ويرفرف قليلاً عندما يواجه الرياح (أسفل وسط). ويغطي القارب في المنطقة المسماة بالمنطقة الميتة، حتى تلامس الرياح الشراع مرة أخرى على الجانب المضاد.



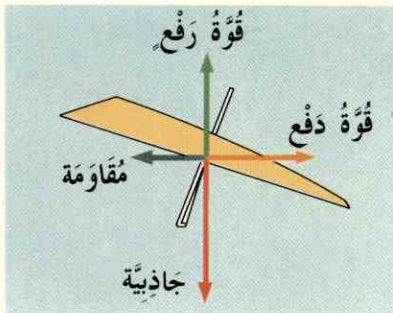
كَيْفَ تَطِيرُ الطَّائِرَاتُ الشَّرَاعِيَّةُ (الْمَنْزِلَقَةُ) الْمَعْلُوقَةُ الْمَعْرُوفَةُ بِالطَّائِرَةِ الْخَفَّاشِ ؟

الْحَوَاصُّ الدِّيْنَامِيكِيَّةُ الْهَوَائِيَّةُ لِلطَّائِرَةِ الْخَفَّاشِ ، الَّتِي اخْتَرَعَتْ فِي الْخَمْسِيْنِيَّاتِ بِوَاسِطَةِ عَالِمِ «نَاسَا» فِرَانْسِيْسِ رُوْجَالُو ، تُشَبِّهُ حَوَاصَّ السُّفُنِ الطَّائِرَةِ الْعَادِيَّةِ . وَتُطْلَقُ الطَّائِرَةُ الْخَفَّاشُ مِنْ عَلَى صَحْرَةٍ أَوْ مِنْ قِمَّةِ تَلٍّ شَدِيدِ الانْحِدَارِ ، وَجَنَاحُهَا الْمُتَحَرِّكُ (يَسَار) يُغَيِّرُ مَسَارَ الْهَوَاءِ الَّذِي يَسْرَى أَعْلَى سَطْحِهِ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ مِنْهَا أَسْفَلَ الْجَنَاحِ ، فَتَتَوَلَّدُ قُوَّةُ رَفْعٍ تَدْفِعُ الْجَنَاحَ إِلَى أَعْلَى . وَتِيَّارَاتُ الْهَوَاءِ الْمُعَاكِسَةُ عَلَى طَوْلِ الْجَنَاحِ وَخَلْفِهِ تُحْدِثُ مُقَاوِمَةً ، تُعَوِّقُ قُوَّةَ الرَّفْعِ . وَلِأَنَّ مُقَدِّمَةَ الْجَنَاحِ تَمِيلُ لِأَعْلَى ، فَإِنَّ كُلًّا مِنْ قُوَّةِ الرَّفْعِ وَالْمُقَاوِمَةِ تَزْدَادُ . وَعِنْدَ خُطْوَةٍ مُنْحَدِرَةٍ جَدًّا ، فَإِنَّ الْمُقَاوِمَةَ عَلَى الْأَجْنِحَةِ تُضْعَفُ قُوَّةُ الرَّفْعِ ، فَتَسْهَرُ الطَّائِرَةُ ، وَتَهْوِي فِي دَوَائِرٍ إِلَى الْأَرْضِ بَعِيدَةً عَنْ أَيِّ تَحَكُّمٍ .

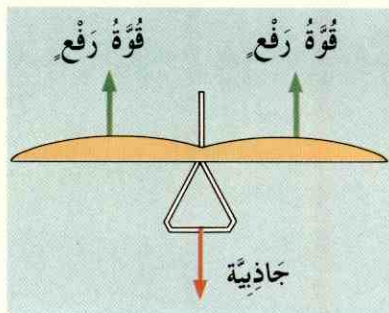
(نَاسَا : وَكَالَةُ الْفَضَاءِ الْأَمْرِيكِيَّةِ)

الْقُوَى الْمُؤَثِّرَةُ عَلَى الطَّائِرَةِ الْخَفَّاشِ

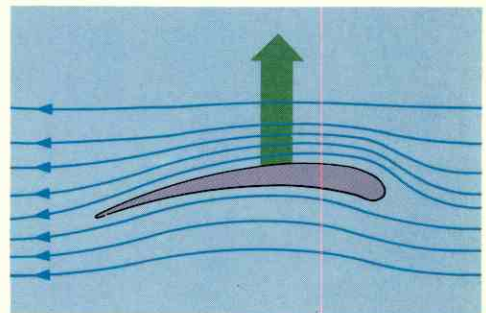
الْخَفَّاشُ الطَّائِرُ دُو سَطْحِ انْسِيَابِي حَامِلٍ (أَرَاغَوَانِي) ، وَعِنْدَ سُرْعَةٍ كَافِيَةٍ يَكُونُ لَهُ قُوَّةُ



يَجِبُ أَنْ تَزِيدَ قُوَّةُ الرَّفْعِ الْكُلِّيَّةُ عَنْ قُوَّةِ الْجاذِبِيَّةِ لِيَبْقَى الْخَفَّاشُ مَحْلَقًا .

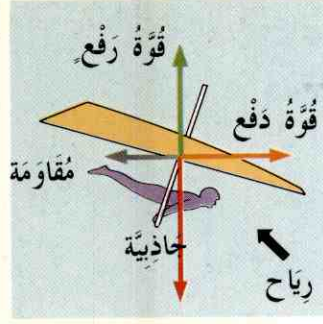
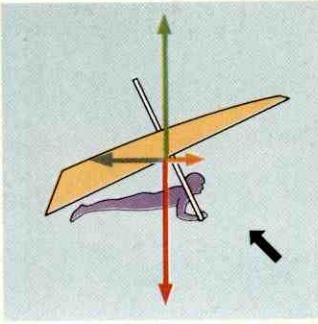


الطَّائِرَةُ الْخَفَّاشُ تَظَلُّ مُحَلَّقَةً فَقَطْ إِذَا ضَبِطَ الْجَنَاحُ لِتَتَزَنَ الْقُوَى الْمُؤَثِّرَةُ عَلَيْهِ .



رَفْعٍ كَافِيَةٍ (السَّهْمُ الْأَخْضَرُ) لِلتَّغَلُّبِ عَلَى الْجاذِبِيَّةِ . وَالرَّيَّاحُ الْمُوَاتِيَّةُ تُسَاعِدُهَا عَلَى الطَّيْرَانِ عِدَّةَ سَاعَاتٍ .

الطيران إلى أعلى



طيارٌ مُعلّقٌ مِنْ حَمَائِلٍ مُثَبَّتَةٍ فِي
الجناح ، يَضْبُطُ زَاوِيَةَ طَيْرَانِهِ
بِتَحْرِيكِ عَمُودِ التَّحْكُمِ
لِلأَمَامِ فَيَرْتَفِعُ الْأَجْنَحَةُ (أَقْصَى
يسار) وَيَرْتَفِعُ الْخَفَاشُ وَتَقِلُّ
سُرْعَتُهُ . وَبِجَذْبِ الْعُمُودِ
لِلْخَلْفِ ، يَهْبِطُ الْخَفَاشُ .

ثَلَاثُ حَالَاتٍ لِلتَّحْلِيْقِ



كَيْفَ يَقْرَأُ الضَّغْطُ الْجَوِّيُّ ؟

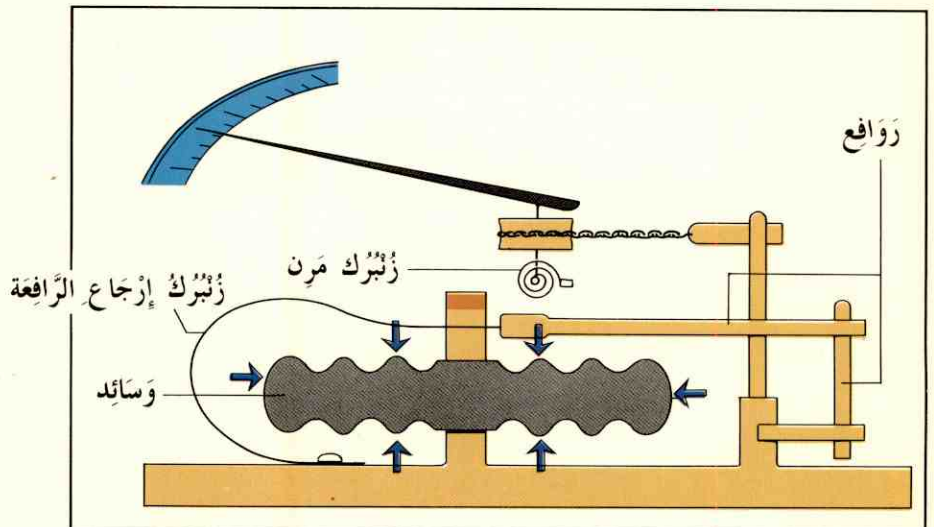
الْبَارُومِترَاتُ هِيَ أَجْهَرَةُ قِيَاسِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ . وَبِعِزَى هَذَا الضَّغْطِ إِلَى وَزْنِ الْهَوَاءِ الْجَوِّيِّ عِنْدَمَا يَضْغُطُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ عَلَى سَطْحِ الْأَرْضِ . وَبِمَا أَنَّ طَبَقَاتِ الْهَوَاءِ الْجَوِّيِّ تَكُونُ أَقْلَ عِنْدَ الْأَرْتِفَاعَاتِ الْعَالِيَةِ — قِمَّةِ جَبَلٍ مَثَلًا — فَإِنَّ الضَّغْطَ الْجَوِّيَّ يَقُلُّ كُلَّمَا ارْتَفَعْنَا لِأَعْلَى . وَيَتَغَيَّرُ الضَّغْطُ الْجَوِّيُّ أَيْضًا عِنْدَمَا تَتَحَرَّكُ الْكُتْلُ الْهَوَائِيَّةُ مُكَوِّنَةً جِهَاتٍ بَارِدَةٍ أَوْ سَاخِنَةٍ . وَلِهَذَا ، فَإِنَّ الْبَارُومِترَاتِ تَدُلُّ عَلَى الطَّقْسِ .

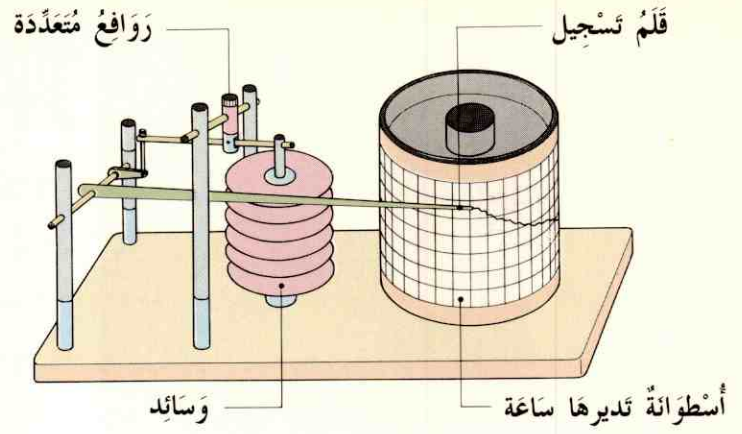
بارومتر معدني

وَالنُّوعَانِ الرَّئِيسِيَّانِ لِلْبَارُومِترَاتِ هُمَا ، الزُّبْقِيُّ وَالْمَعْدِنِيُّ . وَقَدْ اخْتُرِعَ الْبَارُومِترُ الزُّبْقِيُّ بِوَسْطَةِ الْعَالِمِ الْإِيطَالِيِّ إِيْفَانْجِيلِسْتَا ثُورَشِيلِّي عَامَ ١٦٤٣ . وَيَتَكُونُ مِنْ أَتْبُوبٍ زُجَاجِيٍّ مَمْلُوءٍ بِالزُّبْقِ الَّذِي يَرْتَفِعُ وَيَنْخَفِضُ بِزِيَادَةِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ أَوْ انْخِفَاضِهِ . وَالْبَارُومِترُ الْمَعْدِنِيُّ اخْتُرِعَهُ عَامَ ١٨٤٣ الْعَالِمُ الْفَرَنْسِيُّ لُوسِيَانُ فِيدِي . وَفِيهَا تُسْتَخْدَمُ وَسَائِدُ مَعْدِنِيَّةٌ مُجَعَّدَةٌ مُفَرَّغَةٌ مِنَ الْهَوَاءِ تَقْرِيْبًا ، لِتُمَثِّلَ أَغْشِيَةً (أَسْفَلَ) . وَبِتَصْصِيمٍ مِيكَانِيكِيٍّ حَسَّاسٍ تَنْتَقِلُ حَرَكَةُ صُعودٍ وَهَبُوطِ الْوَسَائِدِ إِلَى حَرَكَةٍ دَائِرِيَّةٍ لِمَوْشَرٍّ يُسَجِّلُ الْحَرَكَةَ عَلَى الْوَجْهِ الْمُدْرَجِ لِلْجِهَازِ .

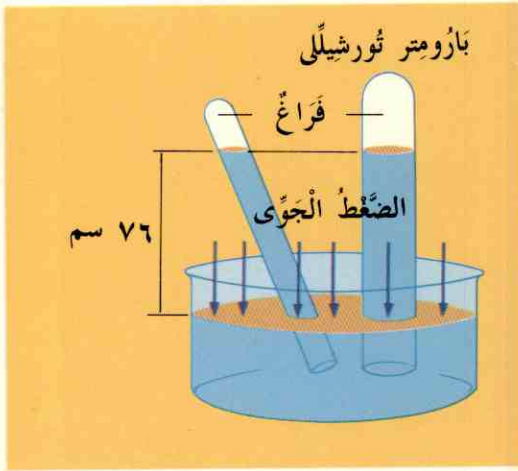
قَلْبُ بَارُومِترٍ مَعْدِنِيٍّ

تَقُومُ سِلْسِلَةٌ رَوَافِعَ بِتَكْبِيرِ الْحَرَكَاتِ الْبَسِيطَةِ لِتَمُدِّدَ وَانْكِمَاشِ الْوَسَائِدِ . وَلَا يَزِيدُ عَرْضُ مُعْظَمِ الْبَارُومِترَاتِ الْمَعْدِنِيَّةِ عَلَى ٨ بُوصَاتٍ .

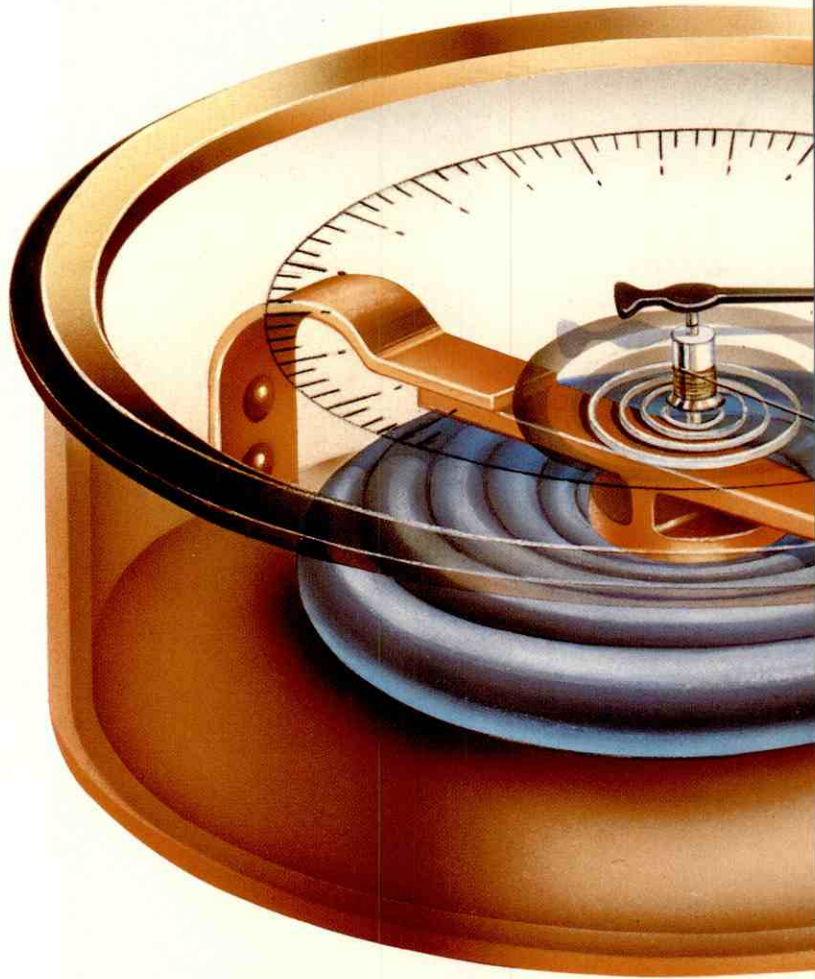




فِي مَرَسَمَةِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ (بَارُوجَرَف)
يَتَحَرَّكُ الْقَلَمُ الدَّقِيقُ لِمَرَسَمَةِ الضَّغْطِ
الْجَوِّيِّ لِأَعْلَى وَأَسْفَلَ عَلَى أَسْطُوَانَةٍ تَدُورُ
بِبُطْءٍ ، لِيُسْجَلَ الضَّغْطُ الْجَوِّيُّ عِنْدَ كُلِّ
لَحْظَةٍ .



يُسَبِّبُ الضَّغْطُ الْجَوِّيُّ ارْتِفَاعَ وَانْخِفَاضَ الزُّبْقِ فِي
هَذِهِ الْأَنْبِيِبِ . وَارْتِفَاعُ الزُّبْقِ يَدُلُّ عَلَى الضَّغْطِ
الْجَوِّيِّ ، وَلَيْسَ حَجْمُ الْأَنْبُوبِ . وَعِنْدَ سَطْحِ الْبَحْرِ
يَكُونُ ارْتِفَاعُ الزُّبْقِ ٧٦ سم تَقْرِيبًا .

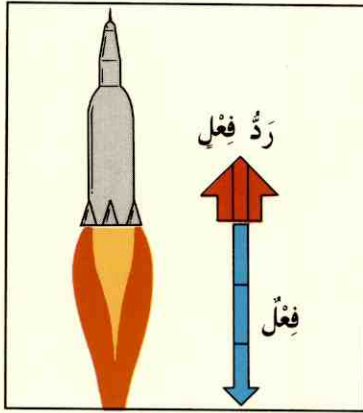


نِصْفًا كُرَةً مَجْدُ بُرْجٍ
يُمْكِنُ إِثْبَاتُ وُجُودِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ بِنِصْفِي
كُرَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ . فَتَفْرَغُ الْكُرَةُ ذَاتِ النِّصْفَيْنِ تَقْرِيبًا
مِنَ الْهَوَاءِ . وَيُلَاحَظُ اسْتِحَالَةُ فَضْلِ النِّصْفَيْنِ ،
بِسَبَبِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ الْوَاقِعِ عَلَيْهِمَا مِنْ
الخَارِجِ .

كَيْفَ يَطْلُقُ الصَّارُوخُ ؟

تُفَذَّفُ الصَّوَارِيخُ إِلَى الْفَضَاءِ الْخَارِجِيِّ بِإِشْعَالِ مُسِيرَاتٍ صُلْبَةٍ أَوْ سَائِلَةٍ . فَتَشْعَلُ هَذِهِ الْمُسِيرَاتُ فِي غَرَفِ احْتِرَاقٍ قَوِيَّةٍ تَحْتَوِي عَلَى وَقُودٍ وَمَادَّةٍ مُؤَكْسِدَةٍ ، فَتَوَلَّدُ كَمِّيَّاتُ هَائِلَةٌ مِنَ الضَّغْطِ وَالْحَرَارَةِ ، تَدْفَعُ غَازَاتِ الْعَادِمِ ثُجَاهَ الْأَرْضِ خِلَالَ فَتَحَاتِ التَّمَدُّدِ . فَيَنْدَفِعُ الصَّارُوخُ مُنْطَلِقًا . وَقَدْ وَصَفَ هَذِهِ الظَّاهِرَةَ الْقَانُونُ الثَّلَاثُ لِنِيُوتُنِ الَّذِي يُنصُّ عَلَى أَنَّهُ لِكُلِّ فِعْلٍ رَدٌّ فِعْلٌ مُسَاوٍ لَهُ فِي الْمِقْدَارِ وَمُضَادٌّ فِي الْإِتِّجَاهِ . وَيُفَضِّلُ الْوَقُودَ السَّائِلَ فِي الصَّوَارِيخِ لِسُهُولَةِ التَّحْكُمِ فِيهِ عَنِ الْوَقُودِ الصُّلْبِ ، كَمَا فِي صَارُوخِ سَاتِيرِن ٥ (يَمِين) . وَهُوَ صَارُوخٌ ذُو ثَلَاثِ مَرَاكِجٍ يَحْرِقُ آلَافَ الْأَطْنَانِ مِنَ سَائِلِ الْهَيْدُرُوجِينِ وَالْأُكْسُجِينِ لِيَضَعَ كَبْسُولَهُ فِصَائِيَّةً فِي مَدَارِهَا .

الهُرُوبُ مِنَ الْجاذِبِيَّةِ
لِيَرْتَفِعَ عَنِ الْأَرْضِ ، يَجِبُ أَنْ
تَزِيدَ قُوَّةَ دَفْعِ الصَّارُوخِ عَنْ
وِزْنِهِ بِحَوَالِي ٣٠٪ . وَإِذَا كَانَتْ
الْكَبْسُولَةُ سَتْدُورُ فِي مَدَارِهَا ،
يَجِبُ أَنْ تَصِلَ سُرْعَتُهَا إِلَى
٢٦٠٠٠ قَدَمٍ/ثَانِيَةٍ . وَتَوَلَّدُ
الصَّوَارِيخُ دَفْعًا يَبْلُغُ حَوَالِي
مِلْيُونِ رِطْلٍ/ثَوَاعِدَةٍ ٢ .



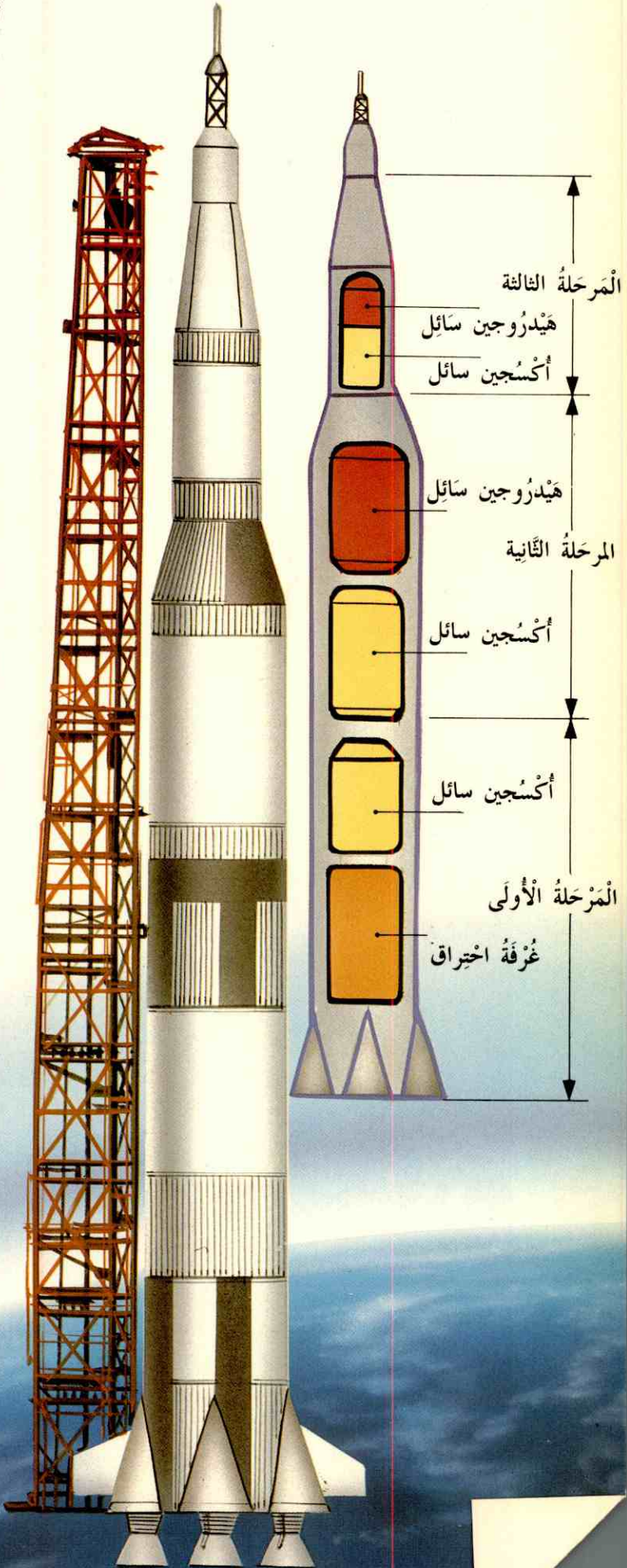
١ - الْمُحَرَّكَاتُ الْخَمْسُ
لِلْمَرَحَلَةِ الْأُولَى تُرْفَعُ الصَّارُوخُ
إِلَى ٣٠ - ٥٠ مِيلًا . وَتَسْقُطُ
الْمَرَحَلَةُ الْأُولَى بَعْدَ اسْتِهْلَاكِ
وَقُودِهَا ، وَتَبْدَأُ مُحَرَّكَاتُ
الْمَرَحَلَةِ الثَّانِيَةِ الْإِحْتِرَاقَ .

١٨٠٠٠ قَدَمٍ/ث



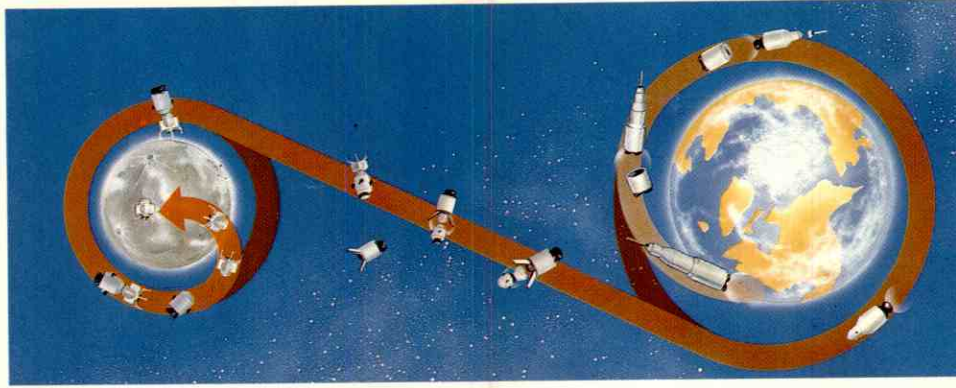
مرحلة أولى استهلك

مُحَرَّكَاتُ مَرَحَلَةِ أُوْلَى يَحْرِقُ الْوَقُودَ ،
الْمُفْتَقِرَ لِمُخْرَجِ الْعَادِمِ



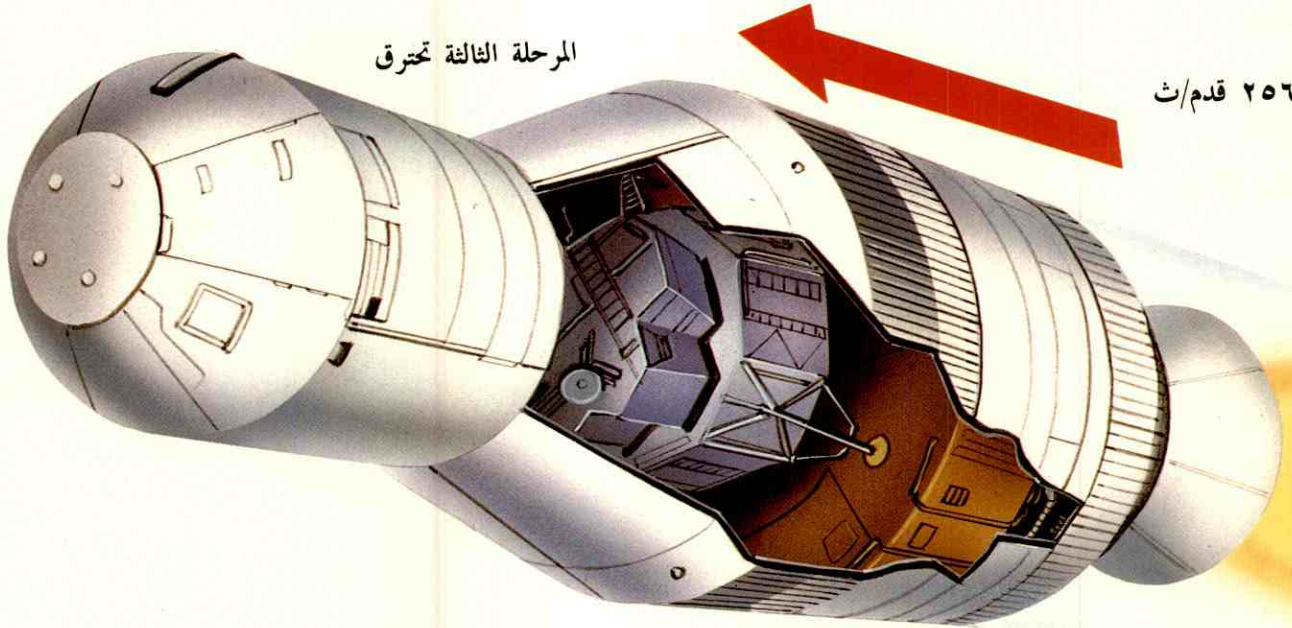
رِحلةٌ إلى القمرِ

عِنْدَ الاسْتِقْرَارِ فِي مَدَارٍ ، يُطْلَقُ أُبُولُّو
تُجَاهَ الْقَمَرِ . وَتَسْقُطُ الْمَرْحَلَةُ الثَّالِثَةُ ،
وَتُوجَّهُ وَحْدَهُ مَرَكِبَاتِ الْأَوَامِرِ
وَالخِدْمَاتِ إِلَى مَدَارٍ حَوْلَ الْقَمَرِ عَلَى
بُعْدٍ ٦٠ ميلاً ، وَتَهْبِطُ الْمَرْكَبَةُ الْقَمَرِيَّةُ
عَلَى سَطْحِهِ . وَبَعْدَ أَنْ تُعِيدَ فَرِيقُ
الاسْتِكْشَافِ ، يَتِمُّ إِحْرَاقُ الْمَرْكَبَةِ
الْقَمَرِيَّةِ .



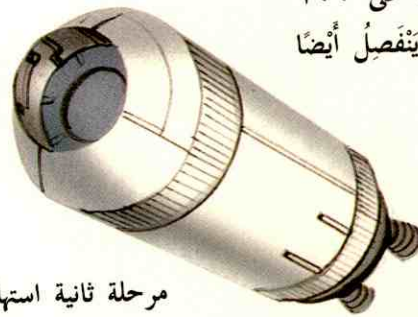
المرحلة الثالثة تحترق

٢٥٦٠٠ قدم/ث



٣ - وَيَتَحَرَّكُ الصَّارُوخُ بِمُحَرِّكِ الْمَرْحَلَةِ
الثَّالِثَةِ فَقَطْ ، وَيَدْفَعُ مَرْكَبَةَ فِضَاءِ أُبُولُّو
إِلَى مَدَارٍ مُؤَقَّتٍ حَوْلَ الْأَرْضِ عَلَى
أَرْتِفَاعٍ ٢٠٠ ميل . وَيَشْتَعِلُ الْمُحَرِّكُ
ثَانِيًا ، وَيَزِيدُ السَّرْعَةَ إِلَى ٣٦٠٠٠
قدم/ث وَيُرْسِلُ الْمَرْكَبَةَ نَحْوَ الْقَمَرِ .

٢ - بَعْدَ ١٢ دَقِيقَةً مِنَ الْإِنْتِلَاقِ ،
تَكُونُ الْمَرْحَلَةُ الثَّانِيَّةُ قَدْ حَمَلَتْ
الصَّارُوخَ إِلَى أَرْتِفَاعٍ يَزِيدُ عَلَى ١٠٠
ميل ، ثُمَّ تَسْقُطُ فَارِغَةً . وَيَنْفَصِلُ أَيْضًا
صَارُوخُ الْهَرُوبِ الطَّارِئِ .



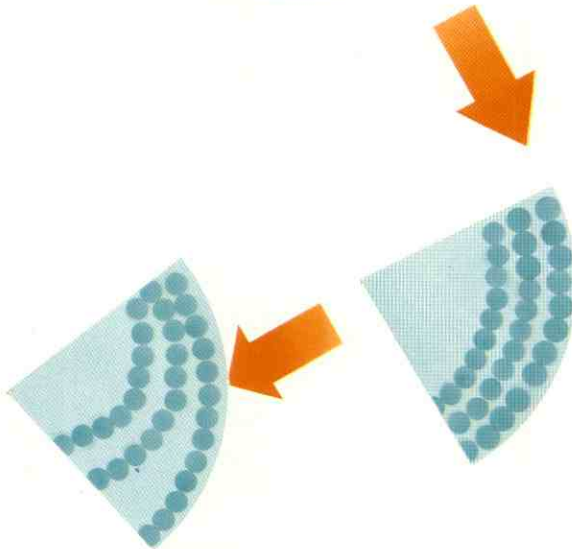
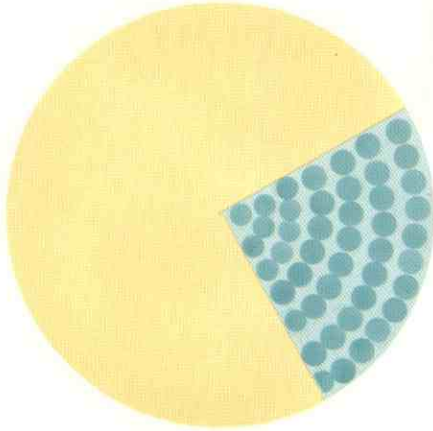
مرحلة ثانية استهلك

صَارُوخُ هَرُوبِ طَارِئِ

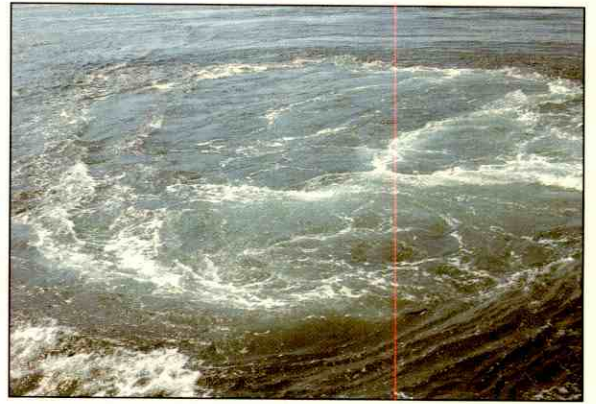


كَيْفَ تَتَكُونُ الدُّوَامَاتُ ؟

١ - عِنْدَ فَتْحِ الصَّرْفِ ، فَإِنَّ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ فَوْقَ فَتْحَةِ الصَّرْفِ مُبَاشِرَةً ، تُجَذَّبُ إِلَى أَسْفَلٍ بِالْجَازِبِيَّةِ وَفِي نَفْسِ الْوَقْتِ ، فَإِنَّ مَقَاوِمَ الْأَنْسِيَابِ تُجَبِّرُ الْجُزَيْئَاتِ عَلَى الْحَرَكَةِ فِي الْأَتِّجَاهِ الْأَفْقِي .



تَتَكُونُ الدُّوَامَاتُ الطَّبِيعِيَّةُ فِي الْمُحِيطَاتِ وَالْجَدَاوِلِ وَالْأَنْهَارِ . وَتَنْشُجُ عَنْ تَفَاعُلِ الْمَدِّ أَوْ التَّيَّارَاتِ أَوْ وُجُودِ أَجْسَامٍ تُغَيِّرُ مَسَارَ الْمَاءِ . وَلَكِنَّ الدُّوَامَاتِ قَدْ تَتَكُونُ أَيْضًا عِنْدَ تَفْرِيعِ السَّوَائِلِ مِنَ الْأَحْوَاضِ أَوْ الْأَنْيَابِ خِلَالَ فَتْحَةِ صَرْفٍ ، وَيَنْسَابُ الْمَاءُ لِأَسْفَلٍ فِي حَلَزُونَاتٍ . وَمِثْلُ هَذِهِ الدُّوَامَةِ هِيَ نَتِيجَةُ حَرَكَةِ الْجُزَيْئَاتِ الْمُفْرَدَةِ الَّتِي تُكُونُ السَّائِلِ . وَيَأْتِي تَأْثِيرُ الْجَازِبِيَّةِ وَاللُّزُوجَةِ - أَوْ مَقَاوِمَ الْأَنْسِيَابِ - فِي الْخُطُواتِ الْمُتَبَعَةِ عَلَى الرَّسْمِ (يَسَار) .

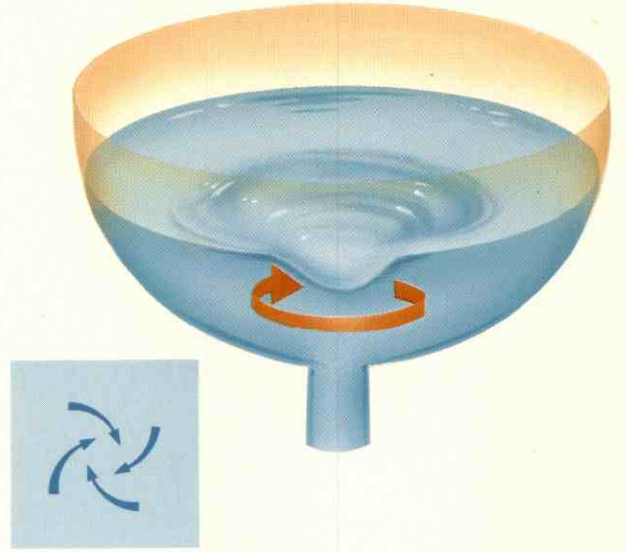


دُوَامَةٌ تَتَكُونُ فِي الْمُحِيطِ

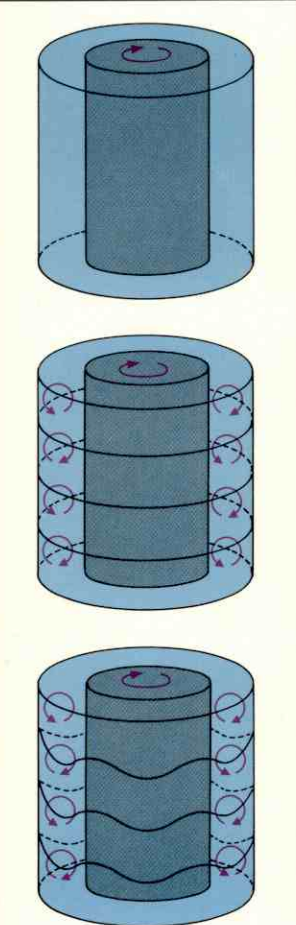
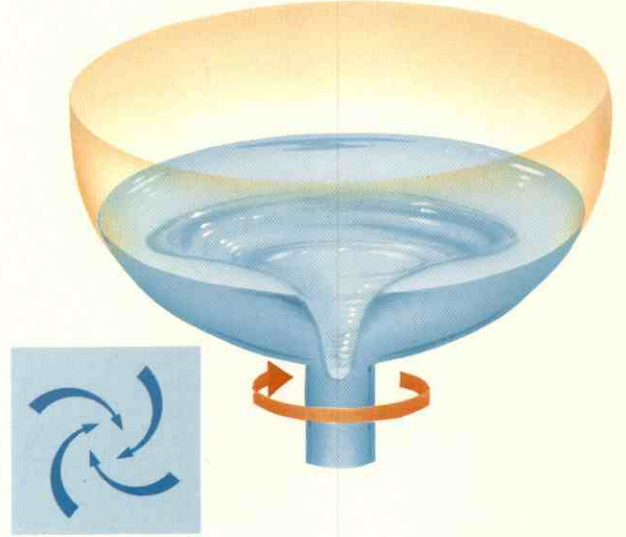
اِحْتِكَالٌ وَلُّزُوجَةٌ

هَذَا الرَّسْمُ (يَسَار) يُوضِّحُ مَسَارَ جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ عِنْدَمَا يَتِمُّ تَحْرِيكُهَا . فَالْجَازِبِيَّةُ تُجَذَّبُ الْجُزَيْئَاتِ إِلَى أَسْفَلِ جِهَةِ الصَّرْفِ . وَاللُّزُوجَةُ تُؤَثِّرُ ضِدَّ الْجَذْبِ ، وَقُوَّةُ الْاِحْتِكَالِ تُؤَثِّرُ عَلَى جُزَيْئَاتِ الْمَاءِ الْمُحِيطَةِ بِحَيْثُ تَصْطَلِفُ ثُمَّ تَبْدَأُ الْحَرَكَةَ وَاحِدَةً بَعْدَ الْأُخْرَى .

٢ — عِنْدَمَا يَبْدَأُ الْمَاءُ فِي التَّحَرُّكِ فِي مَسَارٍ دَائِرِيٍّ ، تَتَبَعُهُ جُزَيْئَاتُ مَاءٍ أُخْرَى . وَكُلَّمَا زَادَ قُرْبُ الْجُزَيْئَاتِ مِنَ الصَّرْفِ ، زَادَتْ سُرْعَةُ حَرَكَتِهَا . أَمَّا الْجُزَيْئَاتُ الْأُبْعَدُ ، فَتَتَحَرَّكُ أبطأ .

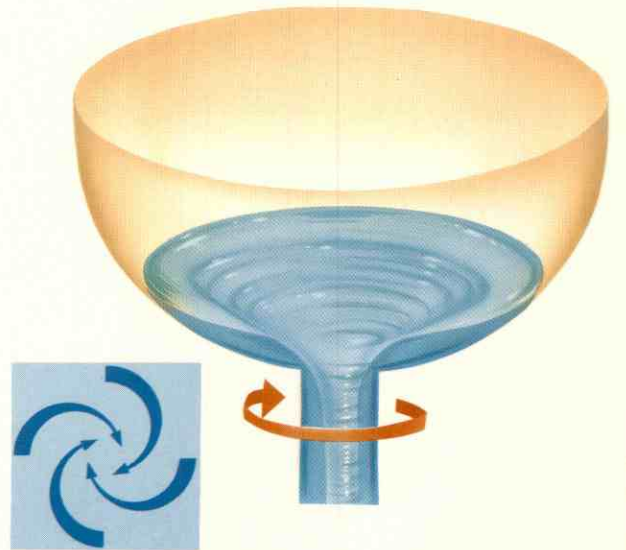


٣ — الْمَاءُ الْهَائِطُ حَلَزُونِيًّا فِي الصَّرْفِ ، يُحْدِثُ انْخِفَاضًا لِسَطْحِ السَّائِلِ عِنْدَ الْمَرْكَزِ ، وَيَتَكَوَّنُ عَمُودٌ مِنَ الْهَوَاءِ عِنْدَ مَرْكَزِ الدُّوَامَةِ .



النَّيَابُ احْتِكَائِي الْمَاءُ الْمَحْصُورُ بَيْنَ الْأُسْطُوَانَتَيْنِ يَتَّبِعُ دَوْرَانَ الْأُسْطُوَانَةِ الدَّاخِلِيَّةِ . وَيَذْوُرُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ بِالْقُرْبِ مِنْهَا عَنْهُ بَعِيدًا عَنْهَا . وَهَذِهِ السَّرْعَاتُ الْمُخْتَلِفَةُ تُحْدِثُ مَوْجَاتٍ . وَتَتَكَوَّنُ التَّيَّارَاتُ الدُّوَامِيَّةُ عِنْدَمَا تُسْحَبُ الْمِيَاهُ بِطِيئَةِ الْحَرَكَةِ بِالْمِيَاهِ سَرِيعَةِ الْحَرَكَةِ .

٤ — عِنْدَمَا يَنْخَفِضُ مُسْتَوَى الْمَاءِ فِي الْحَوْضِ ، يَتَعَمَّقُ عَمُودُ الْهَوَاءِ فِي أَنْبُوبِ الصَّرْفِ . وَتَسْتَمِرُّ الدُّوَامَةُ حَتَّى يَنْتَهِيَ صَرْفُ الْمَاءِ كُلِّهِ .



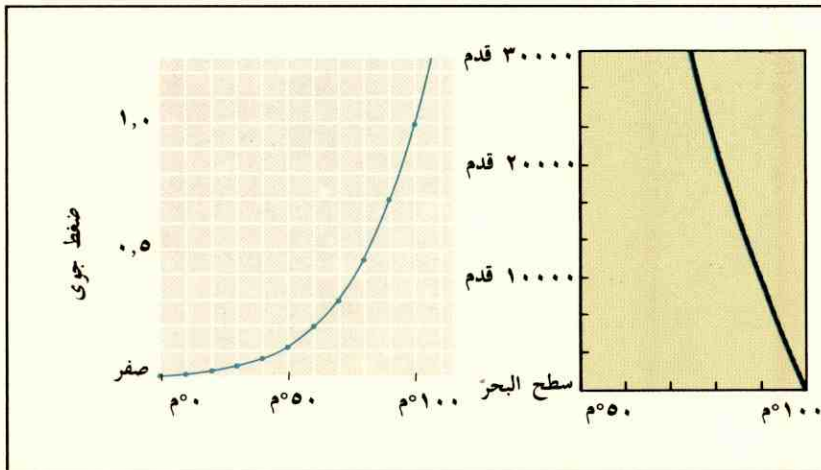
لِمَاذَا يَغْلَى الْمَاءُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ عِنْدَ الارتفاعاتِ الْعَالِيَةِ ؟

عِنْدَ مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحْرِ يَبْدَأُ الْمَاءُ الْمُسَخَّنُ فِي الْعَلَيَانِ عِنْدَ ١٠٠°م (٢١٢°ف)، أَيْ أَنَّ فُقُوعَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ تَتَكَوَّنُ فِي الْمَاءِ وَتَرْتَفِعُ إِلَى سَطْحِهِ . وَيَحْدُثُ ذَلِكَ ، لِأَنَّهُ عِنْدَ هَذِهِ



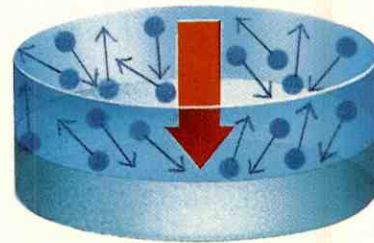
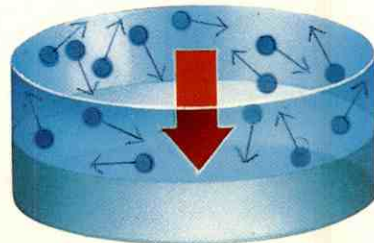
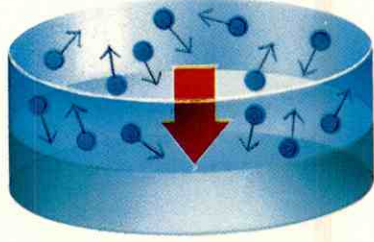
عَامِلُ الْحَرَارَةِ وَالارتفاع

هَذَا الرَّسْمُ الْبَيَانِي يَبَيِّنُ الْعَلَاَقَةَ بَيْنَ ضَغْطِ الْبُخَارِ وَدَرَجَةِ الْحَرَارَةِ . فَعِنْدَ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ الْعَالِيَةِ ، يَرْتَفِعُ ضَغْطُ الْبُخَارِ بِسُرْعَةٍ . وَيَغْلَى الْمَاءُ فَقَطْ عِنْدَمَا يَزِيدُ ضَغْطُ الْبُخَارِ عَنِ الضَّغْطِ الْجَوِّيِّ . وَمِنْ نَاحِيَةِ أُخْرَى ، فَإِنَّهُ إِذَا انْخَفَضَ الضَّغْطُ الْجَوِّيُّ ، فَإِنَّ دَرَجَةَ الْعَلَيَانِ تَنْخَفِضُ كَذَلِكَ . وَالرَّسْمُ الْبَيَانِيُّ الْبَعِيدُ يُوَضِّحُ عِلَاَقَةَ الارتفاع بِدَرَجَةِ غَلَيَانِ الْمَاءِ . فَكُلَّمَا زَادَ الارتفاعُ ، كُلَّمَا انْخَفَضَتْ دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الَّتِي يَغْلَى عِنْدَهَا الْمَاءُ .



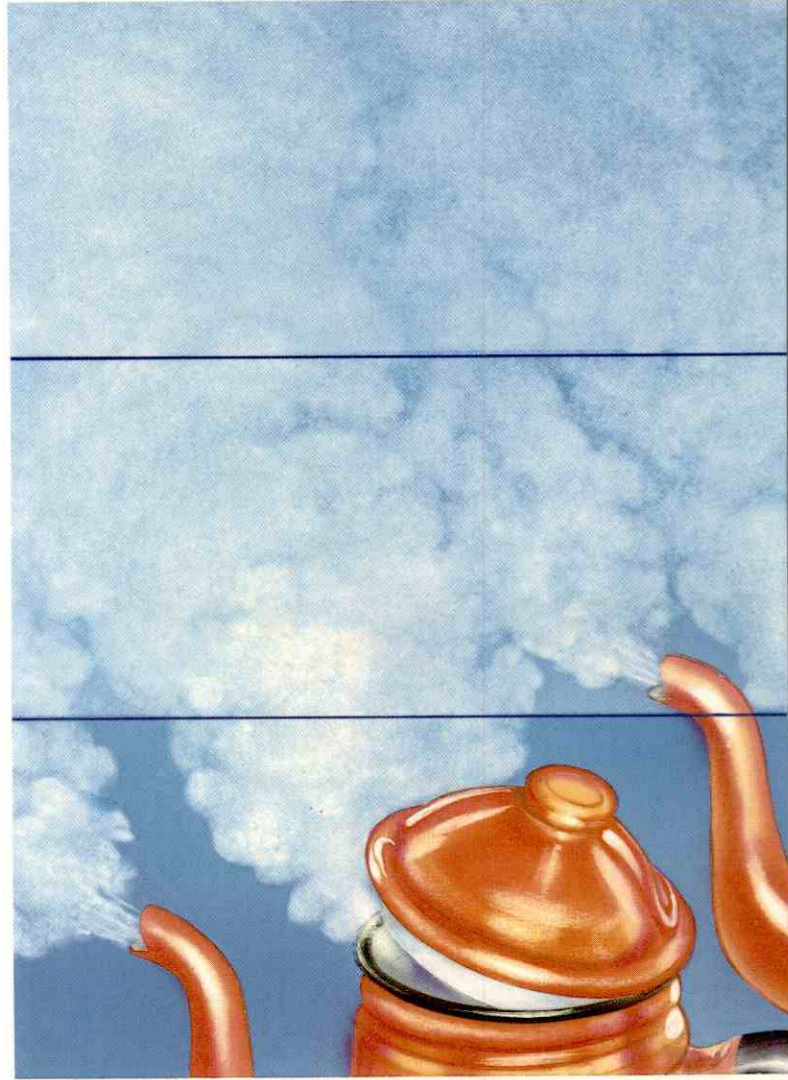
طاقة الحركة

طاقة الحركة أي طاقة حركة الجزيئات ضغط جوي أقل تلعب دوراً كبيراً عندما يتحول الماء إلى بخار . فعندما يكون مستوى الطاقة عالياً ، تتبخر جزيئات كثيرة ، هاربة من الروابط التي تجعلها في الحالة السائلة . وتحت ضغط منخفض (أسفل) يكون لدى الجزيئات طاقة كافية لتكوين فقاعات غازية للتبخر دون إضافة حرارة كثيرة . وبالقرب من مستوى سطح البحر ، تلزم حرارة أكثر (سهم أحمر) ليحدث التبخر .



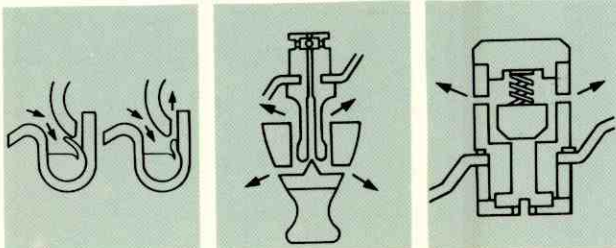
ضغط جوي أعلى

الدرجة ، يزيد ضغط بخار الماء قليلاً عن الضغط الجوي . ويكون الضغط الجوي أقل كثيراً عند الارتفاعات العالية ، فيغلي الماء عند درجات حرارة أقل . وبالعكس ، فإذا زاد الضغط على السائل ، تحت مستوى سطح البحر مثلاً أو داخل إناء طهي ضغطي — فإن الماء يغلي عند درجات حرارة أعلى . والرسم على هذه الصفحات يوضح نقط الغليان عند ارتفاعات مختلفة .



إسراع زمن الطهي

القدور الضغطية (يسار) تحتفظ بضغط متزايد داخلها . وعند مستوى سطح البحر ، فإن الأواني المحكمة ترفع درجة غليان الماء إلى ١٢١°م (٢٥٠°ف) . ودرجة الحرارة العالية تعني أن الطعام ينضج أسرع ، ويوفر الوقت .



قطاعات توضح ميكانيكية القدر الضغطي التي تمنع زيادة الضغط لدرجة الانفجار . فصمام الأمان (يمين) ، والمنظم (وسط) ، وإحكام الحافة (يسار) كلها تساعد على التحكم في الضغط بالسماح للبخار بالخروج .

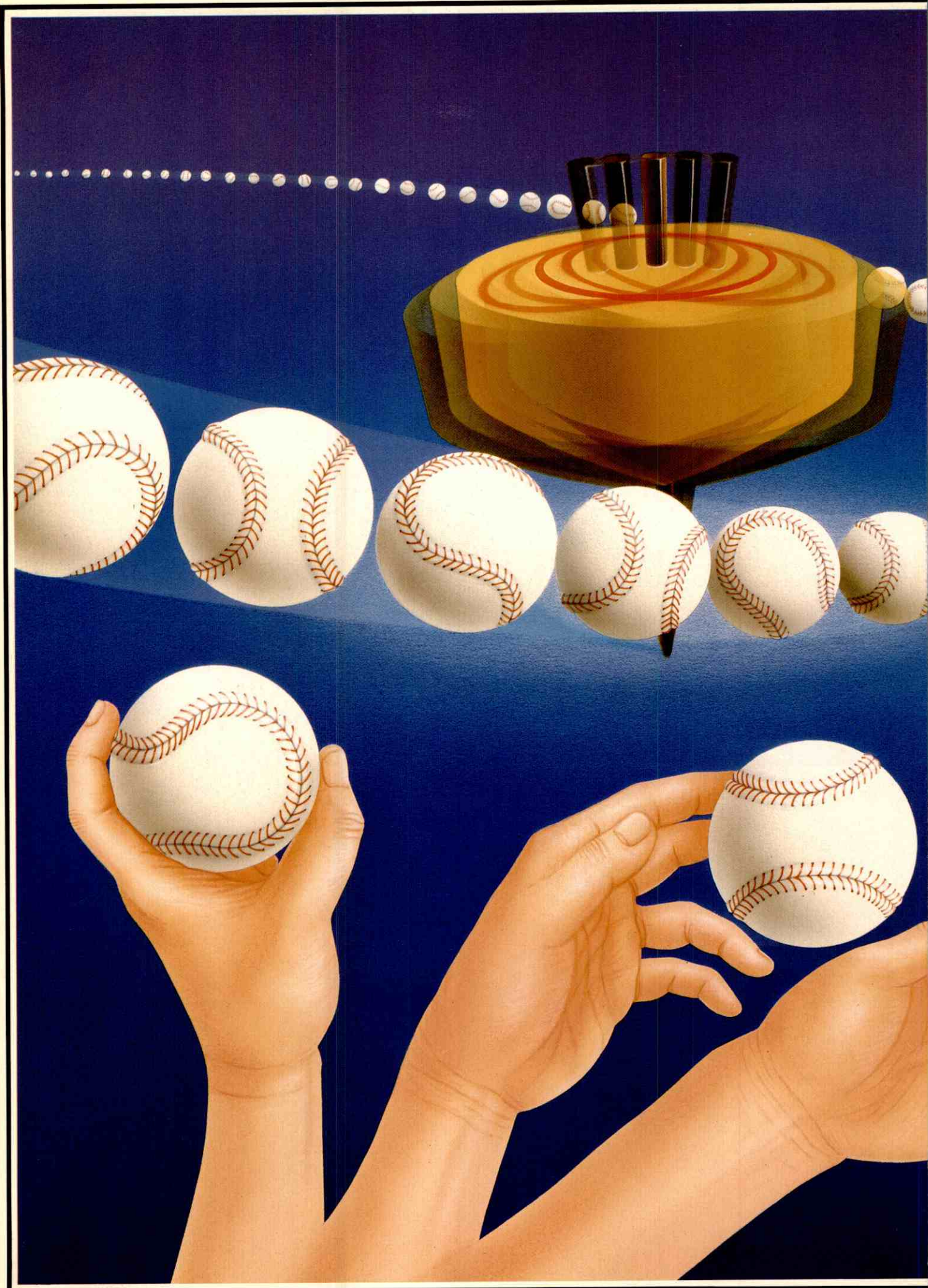
2 الحاذبة والحركة

حَرَكَه كُلِّ جِسْمٍ فِي الْكَوْنِ — مِنَ الذَّرَاتِ وَالْجُزَيَّاتِ إِلَى النُّجُومِ وَالْمَجَرَّاتِ — تَخْضَعُ لِبُضْعَةِ قَوَانِينٍ أُسَاسِيَّةٍ . وَقَدْ وَضَعَ أَحْسَنَ صِيَاعَةٍ لِهَذِهِ الْقَوَانِينِ الْعَالِمُ الْفِيْزِيَاءِيُّ الْإِنْجِلِيزِيُّ سِيرِ إِسْحَاقْ نِيُوتِن ، الَّذِي هَزَّ الْعَالَمَ بِكِتَابِهِ « الْمَبَادِي الرِّيَاضِيَّةُ لِلْفَلَسَفَةِ الطَّبِيعِيَّةِ » فَبِإِلْضَافَةٍ لَوْصَفِ نَظَرِيَّةِ الْجَذْبِ الْعَامِ الْكُونِيَّةِ ، فَقَدْ ضَمَّنَ الْقَوَانِينِ الثَّلَاثَةَ لِلْحَرَكَةِ فِي هَذَا الْكِتَابِ .

وَيَنْصُ قَانُونُ الْحَرَكَةِ الْأَوَّلِ لِنِيُوتِنِ عَلَى أَنَّ الْأَجْسَامَ الْمُتَحَرِّكَهَ تَسْتَمِرُّ فِي الْحَرَكَةِ فِي حُطٍّ مُسْتَقِيمٍ ، وَأَنَّ الْأَجْسَامَ ، السَّاكِنَةَ تَظَلُّ سَاكِنَةً ، إِلَّا إِذَا أَثَرَتْ عَلَيْهَا قُوَّةٌ خَارِجِيَّةٌ . وَتَلْعَبُ نَظَرِيَّةُ الْقُصُورِ الدَّائِي (ص ٢٨ — ٢٩) دَوْرًا فِي الْأَجْسَامِ الْمُتَحَرِّكَهَ مِنَ الْمَزَلَّجَاتِ إِلَى الْأَقْمَارِ الصَّنَاعِيَّةِ . وَيَصِفُ الْقَانُونُ مِقْدَارَ الْقُوَّةِ وَكُتْلَةَ الْجِسْمِ . وَيَنْصُ الْقَانُونُ الثَّالِثُ عَلَى أَنَّهُ لِكُلِّ فِعْلٍ رَدٌّ فِعْلٌ مُسَاوٍ لَهُ فِي الْمِقْدَارِ وَمُضَادٌّ لَهُ فِي الْإِتِّجَاهِ . وَفِي حَالِ الصَّوَارِيخِ ، فَإِنَّ الْفِعْلَ هُوَ اخْتِرَاقُ أَطْنَانِ الْوُقُودِ ، وَرَدُّ الْفِعْلِ هُوَ قُوَّةُ الدَّفْعِ النَّاتِجَةُ الَّتِي تُطْلَقُ الصَّارُوخُ .

وَرَعْمَ أَنَّ قَوَانِينِ نِيُوتِنِ الْآنَ شَائِعَةٌ وَتُدْرَسُ فِي مُعْظَمِ الْمَدَارِسِ ، إِلَّا أَنَّهَا بَهَرَتْ الْعَالَمَ عِنْدَ نَشْرِهَا لِأَوَّلِ مَرَّةٍ . وَمَعَ أَنَّ بَعْضَ الظَّوَاهِرِ تَبْدُو غَيْرَ مُرْتَبِطَةٍ مَعًا — مِثْلُ سُقُوطِ ثَفَاحَةٍ وَدَوْرَانِ الْكَوَاكِبِ فِي مَدَارَتِهَا إِلَّا أَنَّهُ فَسَّرَهَا فِي قَانُونٍ وَاحِدٍ ، هُوَ الْقَانُونُ الْعَامُّ لِلْجَذْبِيَّةِ .

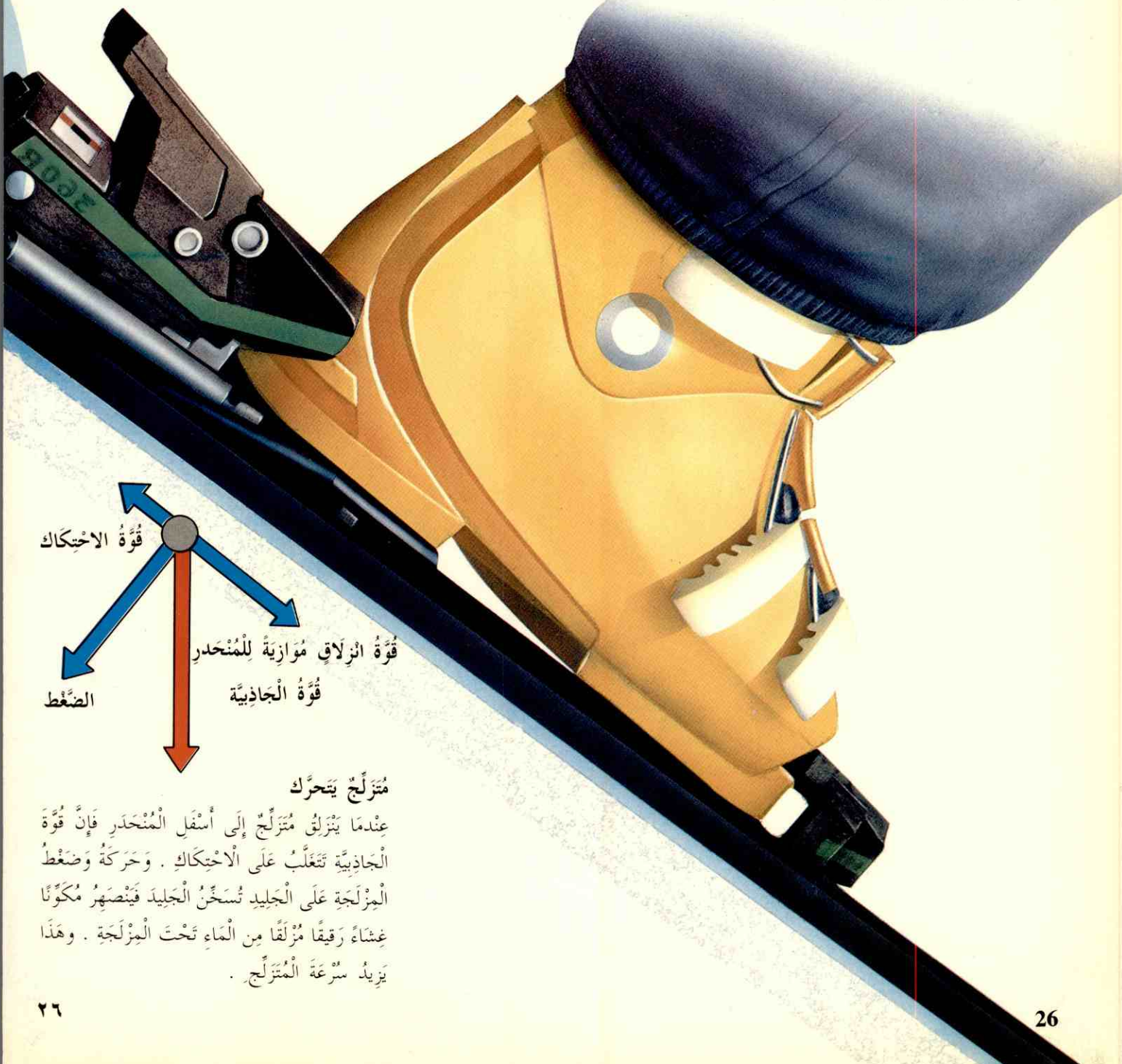
إِطْلَاقُ كُرَّةِ الْقَوْسِ وَتَمَائِيلُ الدَّوَّارَةِ (يسار) تَخْضَعُ لِقَوَانِينِ الْحَرَكَةِ ، وَتَأْخُذُ أَشْكَالًا غَيْرَ مَالُوفَةٍ .



كَيْفَ يَتَحَرَّكُ الْمُتَزَلِّجُونَ عَلَى الْجَلِيدِ بِسُرْعَةٍ فَائِقَةٍ ؟

إِلَى أَسْفَلِ الْمُنْحَدِرِ . وَبَيْنَمَا يَتَقَدَّمُ الْمُتَزَلِّجُ إِلَى الْأَمَامِ ، فَإِنَّ الْحَرَارَةَ النَّاتِجَةَ عَنْ حَرَكَةِ الْمَزْلِجَةِ عَلَى الْجَلِيدِ ، تَعْمَلُ دَوْمًا عَلَى انصِهَارِ جَلِيدٍ جَدِيدٍ تَحْتَهَا . وَيُمْكِنُ لِلْمُتَزَلِّجِ أَنْ يَزِيدَ سُرْعَتَهُ بِتَغْطِيطِ قَاعِدَةِ الْمَزْلِجَةِ بِالشَّمْعِ الَّذِي يَطْرُدُ الْمَاءَ ، وَيَجْعَلُ الْاِحْتِكَاكَ أَقْلَ . وَلِنَفْسِ السَّبَبِ ، يَنْزَلِقُ الْمُتَزَلِّجُونَ عَلَى طَبَقَةٍ رَقِيقَةٍ مِنَ الْمَاءِ بَيْنَ قَاعِدَةِ حِذَاءِ التَّرْخُلِقِ وَالْجَلِيدِ : وَالضَّغْطُ الْكَبِيرُ النَّاتِجُ عَنِ السَّلَاحِ الضَّيِّقِ فِي قَاعِدَةِ الْحِذَاءِ يُسَبِّبُ انصِهَارَ الْجَلِيدِ . مِمَّا يُلْغِي الْاِحْتِكَاكَ تَقْرِيْبًا .

يَسْتَطِيعُ الْمُتَزَلِّجُونَ السَّبَاقَ عَلَى مُنْحَدِرٍ بِسُرْعَةٍ قَدْ تَصَلَّى إِلَى ١٠٠ مِيلٍ / سَاعَةً ، لِأَنَّهُ يُمَكِّنُهُمُ التَّغَلُّبُ عَلَى الْاِحْتِكَاكِ الَّذِي يَعُوقُ انزِلَاقَ جِسْمٍ آخَرَ . وَعِنْدَمَا يَخْطُو الْمُتَزَلِّجُ عَلَى مُنْحَدِرٍ ، فَإِنَّ الْاِحْتِكَاكَ يُبْنِثُ الْمَزْلِجَةَ فِي الْجَلِيدِ . وَلَكِنَّ وَزْنَ الْمُتَزَلِّجِ يُؤَثِّرُ بِقُوَّةٍ عَمُودِيَّةٍ عَلَى الْمُنْحَدِرِ تُسَبِّبُ انصِهَارَ طَبَقَةٍ رَقِيقَةٍ مِنَ الْجَلِيدِ تَحْتَ الْمَزْلِجَةِ ، وَتُكُونُ غِشَاءً رَقِيقًا مِنَ الْمَاءِ . وَيَعْمَلُ هَذَا الْغِشَاءُ كَمَادَّةٍ مُزَلَّةٍ ، تُقَلِّلُ قُوَّةَ مُقَاوَمَةِ الْاِحْتِكَاكِ إِلَى مَقْدَارٍ صَغِيرٍ جَدًّا يُتِيحُ لِقُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ أَنْ تَجْدِبَ الْمُتَزَلِّجَ



مُتَزَلِّجٌ يَبْدَأُ

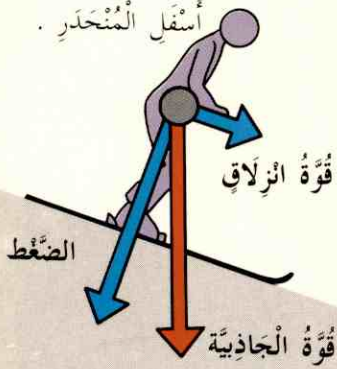
فِي الْبِدَايَةِ يَعْمَلُ الْاِحْتِكَاكُ بَيْنَ الْمُزَلَّجَةِ وَالْجَلِيدِ كَحَاجِزٍ يَمْنَعُ الْمُتَزَلِّجَ مِنَ الْحَرَكَةِ لِأَسْفَلَ . وَلَكِنْ بِمُجَرِّدِ أَنْ يُؤَلَّدَ وَزْنُ الْمُتَزَلِّجِ ضَعْفًا عَلَى الْجَلِيدِ ، فَإِنَّ الْجَلِيدَ يَبْدَأُ فِي الْأَنْصِهَارِ ، وَيَنْزِلُ الْمُتَزَلِّجُ لِأَسْفَلَ .



سَيِّدَةٌ تَهْبِطُ الْمُنْحَدَ

الْقُوَى الْمُؤَثِّرَةُ عَلَى مُتَزَلِّجٍ

قُوَّةُ الْجَاذِبِيَّةِ لِمُتَزَلِّجٍ عَلَى مُنْحَدٍ ، يَكُونُ لَهَا مَرَكَبَتَانِ . إِحْدَاهُمَا عُمُودِيَّةٌ عَلَى الْمُنْحَدِ تَضَعُ عَلَى الْجَلِيدِ لِأَسْفَلَ ، وَالثَّانِيَّةُ مُوَازِيَةٌ لِلْمُنْحَدِ تُحَرِّكُ الْمُتَزَلِّجَ إِلَى أَسْفَلَ الْمُنْحَدِ .



قُوَّةُ الْاِحْتِكَاكِ

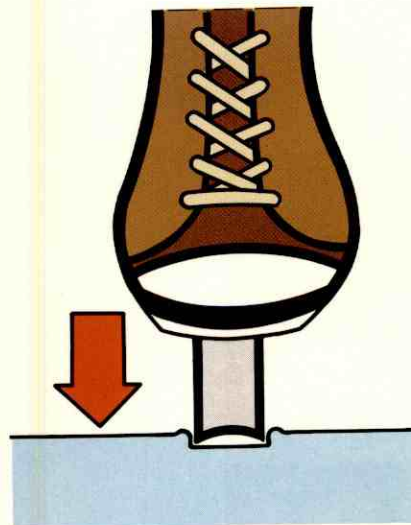
الضَّغْطُ

قُوَّةُ النِّزَاقِ

قُوَّةُ الْجَاذِبِيَّةِ

التَّرْخُلُقُ عَلَى الْجَلِيدِ

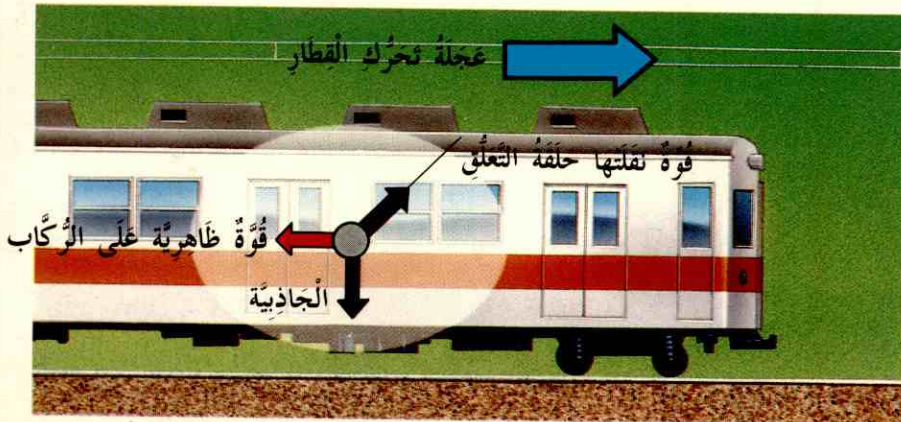
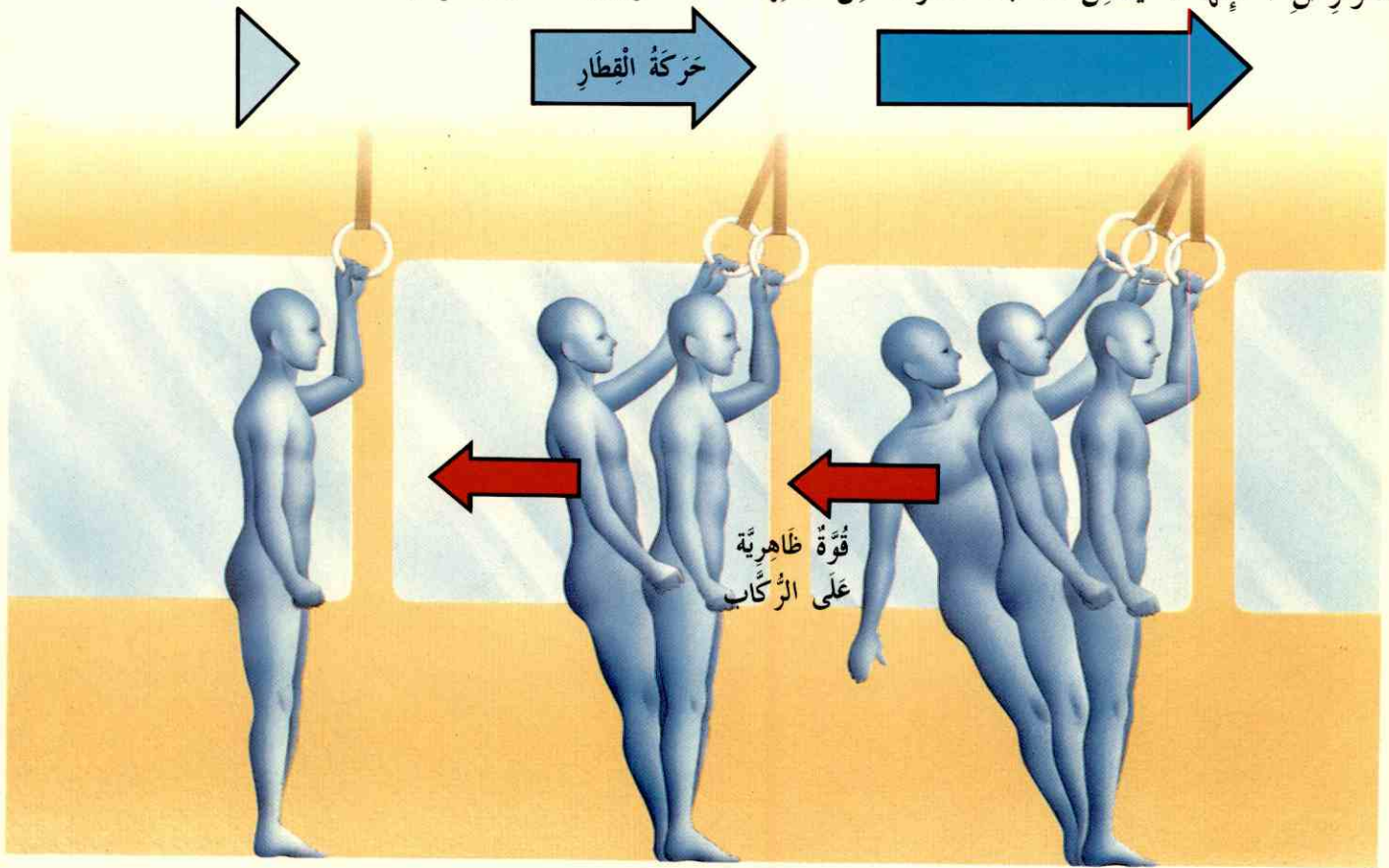
يَتَحَرَّكُ الْمُتَزَلِّجُونَ عَلَى الْجَلِيدِ — مِثْلَ الْمُتَزَلِّجِينَ — عَلَى طَبَقَةٍ رَقِيقَةٍ مِنَ الْمَاءِ بَيْنَ حِذَاءِ التَّرْخُلُقِ وَالْجَلِيدِ . وَالضَّغْطُ الْهَائِلُ لِلسَّلَاحِ الْمُثَبَّتِ أَسْفَلَ الْحِذَاءِ يَرْفَعُ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ لِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ لِأَنْصِهَارِ الْجَلِيدِ السَّطْحِيِّ . وَكُلَّمَا زَادَ الضَّغْطُ زَادَتْ كَمِّيَّةُ الْجَلِيدِ الْمُنْصَهَرَةِ ، وَزَادَتْ بِالتَّالِي سُرْعَةُ الْمُتَزَلِّجِ .



مَا هُوَ الْقُصُورِ الدَّائِي ؟

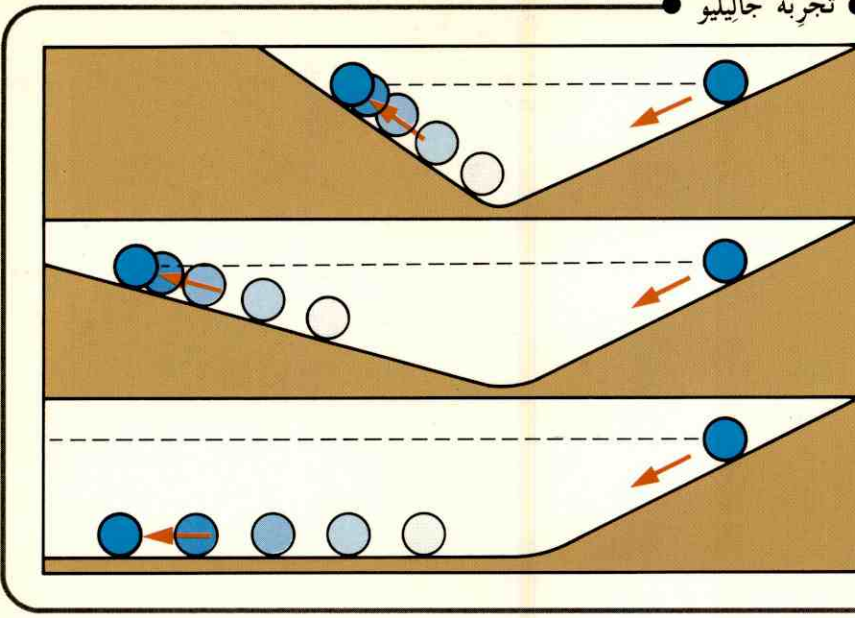
لَا تَتَحَرَّكُ الْأَجْسَامُ أَوْ تُغَيِّرُ اتِّجَاهَ حَرَكَتِهَا إِلَّا إِذَا أَثَرَتْ عَلَيْهَا قُوَّةٌ. وَمُقَاوِمَةُ الْأَجْسَامِ لِحُدُوثِ هَذَا التَّغْيِيرِ تُسَمَّى الْقُصُورِ الدَّائِي لِلْجِسْمِ ، الَّذِي يَعْنِي بَسَاطَةً أَنَّ الْأَجْسَامَ السَّاكِنَةَ تَظَلُّ سَاكِنَةً ، وَالْمُتَحَرِّكَ تَظَلُّ مُتَحَرِّكَةً إِلَّا إِذَا أَثَرَتْ عَلَيْهَا قُوَّةٌ خَارِجِيَّةٌ . فَعِنْدَ إِبْطَالِ مِرْوَحَةِ كَهْرَبِيَّةٍ — مَثَلًا — فَإِنَّ رِيَشَ (عَوَارِضَ) الْمِرْوَحَةِ الَّتِي كَانَتْ تَدُورُ بِسُرْعَةٍ تَسْتَمِرُّ فِي الدَّوْرَانِ فَتَرَةً ثُمَّ تَقِلُّ سُرْعَتُهَا وَتَقِفُ . وَلَوْلَا الْمُقَاوِمَةُ بَيْنَ الْعَوَارِضِ وَالْمُحَرِّكِ ، وَمُقَاوِمَةُ الْهَوَاءِ ، لَاسْتَمَرَّتِ الْعَوَارِضُ فِي الدَّوْرَانِ إِلَى مَا لَا نِهَآيَةَ حَتَّى بَعْدَ إِقْفَافِ تَشْغِيلِ الْمِرْوَحَةِ . وَبِمَجْرَدِ تَوْقُفِ الْعَوَارِضِ ، فَإِنَّهَا لَا يُمْكِنُ أَنْ تَبْدَأَ الْحَرَكَةَ مِنْ نَفْسِهَا

وَالْقُوَّةُ ، فِي هَذِهِ الْحَالَةِ ، هِيَ الْمُحَرِّكُ الْكَهْرَبِيُّ اللَّازِمُ لِبَدْءِ الْحَرَكَةِ وَاسْتِمْرَارِهَا . وَقَابِلِيَّةُ الْأَجْسَامِ لِلْإِحْتِفَاطِ بِحَالَتِهَا الْحَرَكِيَّةِ — سَكُونٍ أَوْ حَرَكَةٍ — تُوضَحُ لِمَآذَا يَسْقُطُ رُكَّابُ قِطَارٍ إِلَى الْخَلْفِ أَوْ الْأَمَامِ عِنْدَمَا يَبْدَأُ الْقِطَارُ حَرَكَتَهُ أَوْ عِنْدَمَا يَتَوَقَّفُ (أَسْفَلَ) . وَمُنْذُ أَنْ يَحْتَثَّ الْفِيلَسُوفُ الْإِغْرِيقِيُّ أَرِسْطُو عَنْ الْقُصُورِ الدَّائِي ، وَالْمُفَكِّرُونَ مُتَحَيِّرُونَ فِي هَذِهِ الظَّاهِرَةِ . وَفِي عَامِ ١٦٣٥ أَجْرَى الْعَالِمُ الْإِيطَالِيُّ جَالِيلِيو جَالِيلِي سِلْسِلَةَ تَجَارِبٍ مُسْتَحْدِمًا كُرَاتٍ تَتَدَحْرُجُ إِلَى أَسْفَلِ مُسْتَوِيَّاتٍ مَائِلَةٍ ، وَتَوْصَلَ إِلَى أَوَّلِ مَفْهُومٍ حَدِيثٍ لَوْصِفِ الْقُصُورِ الدَّائِي . وَاسْتَفَادَ سِيرِ إِسْحَاقِ نِيوتنٍ مِنْ أَعْمَالِ جَالِيلِيو ، وَأَضَافَ إِلَيْهَا نَتَاجِجَهُ وَوَصَفَهَا كُلَّهَا فِي قَانُونِهِ الْأَوَّلِ مِنْ قَوَانِينِهِ الثَّلَاثَةِ لِلْحَرَكَةِ .

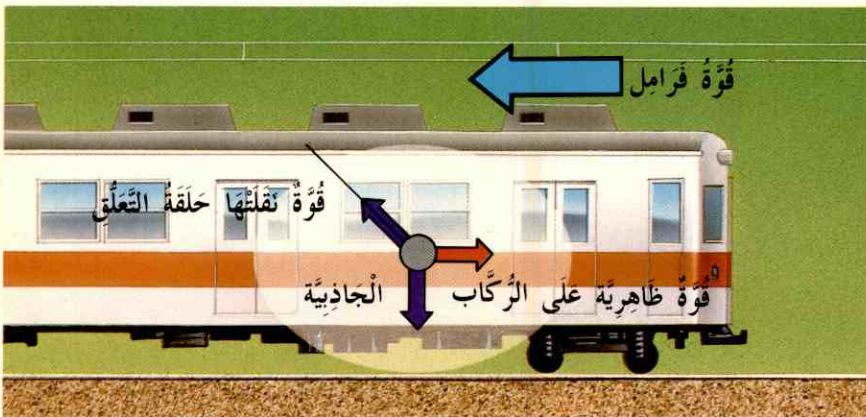
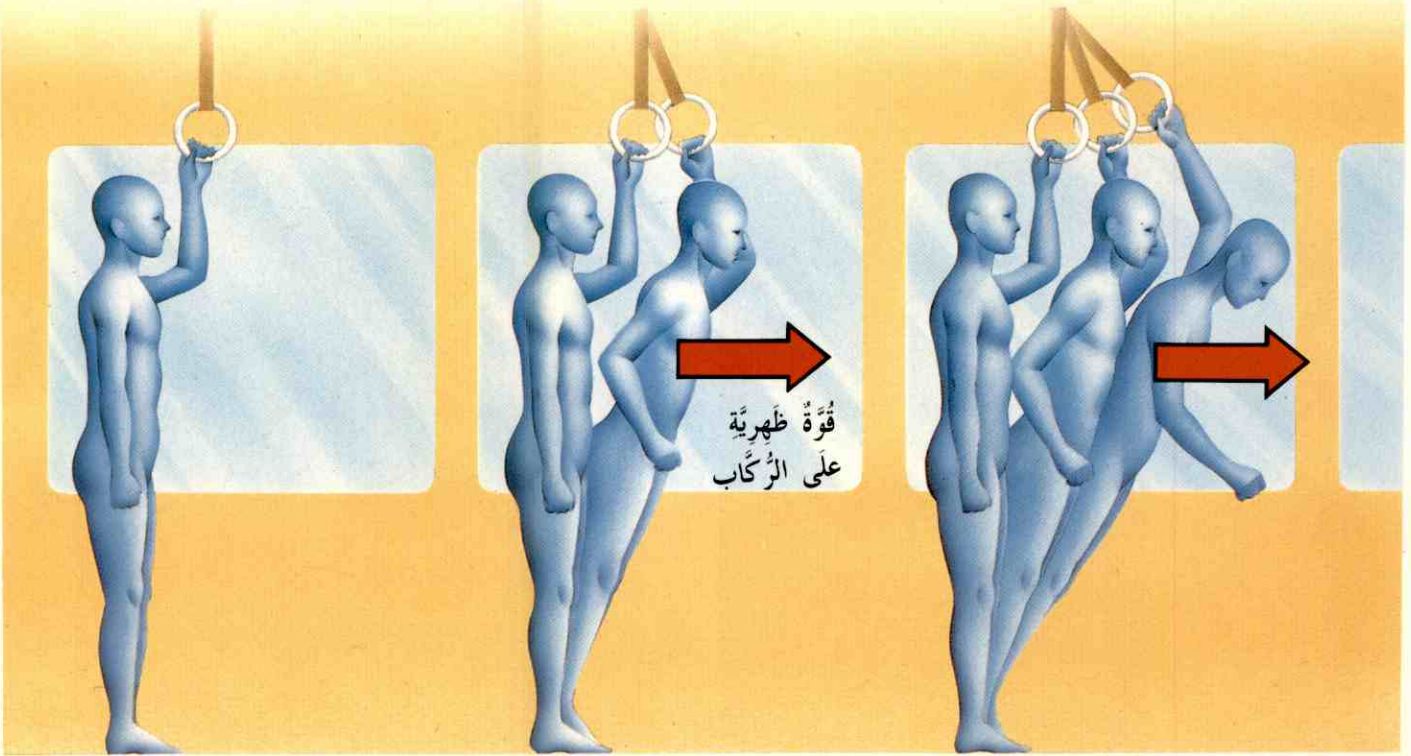
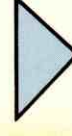
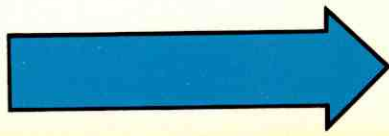


أَجْسَامَ سَاكِنَةً فِي الرَّسْمِ الْعُلُويِّ ، فُوجِيَ الرُّكَّابُ بِالْقِطَارِ يَبْدَأُ حَرَكَتَهُ ، وَبَدَأُوا يَسْقُطُونَ إِلَى الْخَلْفِ . وَهَذَا الرَّسْمُ الْأَيْسَرُ يَوْضَحُ كَيْفَ تَحْمِلُ حَلَقَةُ التَّعْلِقِ أَوْ تَنْقُلُ الْقُوَّةَ اللَّازِمَةَ لِدَفْعِ الرُّكَّابِ لِلأَمَامِ حَتَّى لَا يَسْقُطُوا ، بَيْنَمَا تَبْقِيهِمُ الْجَاذِبِيَّةُ الْأَرْضِيَّةُ فِي أَمَاكِنِهِمْ . وَيَتَأَثَّرُ الرُّكَّابُ بِالْعَجَلَةِ كَمَا لَوْ كَانَتْ قُوَّةٌ خَفِيَّةٌ تَدْفَعُهُمْ لِلْخَلْفِ .

تجربة جاليليو



تَمَكَّنْ جَالِيلِيو مِنْ وَصْفِ الْقُصُورِ الدَّائِيَّةِ وَصَفًا صَحِيحًا مِنْ خِلَالِ مُشَاهَدَاتِهِ لِلْكُرَاتِ الْمُتَحَرِّكَِةِ عَلَى مُنْحَدَرَاتٍ . إِذَا لَمْ تُوَجَدْ مُقَاوِمَةٌ اِحْتِكَالِيَّةٌ ، فَإِنَّ الْكُرَّةَ الْمُنْحَدِرَةَ إِلَى أَسْفَلِ الْمُسْتَوَى تَسْتَمِرُّ فِي الْحَرَكَةِ لِتَصْعَدَ عَلَى مُسْتَوَى آخَرَ (أَعْلَى) حَتَّى تَتَغَلَّبَ قُوَّةُ الْجَاذِبِيَّةِ عَلَى طَاقَتِهَا الْحَرَكِيَّةِ . كَمَا أَنَّ الْكُرَّةَ تَتَحَرَّكُ مَسَافَةً أَطْوَلَ عَلَى الْمُسْتَوَى الثَّانِي (وَسَط) إِذَا كَانَ الْمُسْتَوَى أَقْلَ مَيْلًا مِنْهُ فِي الْمِثَالِ الْأَوَّلِ . وَذَكَرَ جَالِيلِيو أَنَّهُ كُلَّمَا قَلَّ مَيْلُ الْمُسْتَوَى الثَّانِي ، كُلَّمَا زَادَتْ الْمَسَافَةُ الَّتِي تَتَحَرَّكُهَا الْكُرَّةُ عَلَيْهِ . فَإِذَا أَصْبَحَ الْمُسْتَوَى الثَّانِي أَفْقِيًا (أَسْفَل) فَإِنَّ الْجَاذِبِيَّةَ لَنْ تُؤَثِّرَ عَلَى الْحَرَكَةِ ، وَتَسْتَمِرُّ الْكُرَّةُ فِي الْحَرَكَةِ عَلَى الْمُسْتَوَى إِلَى الْأَبَدِ .



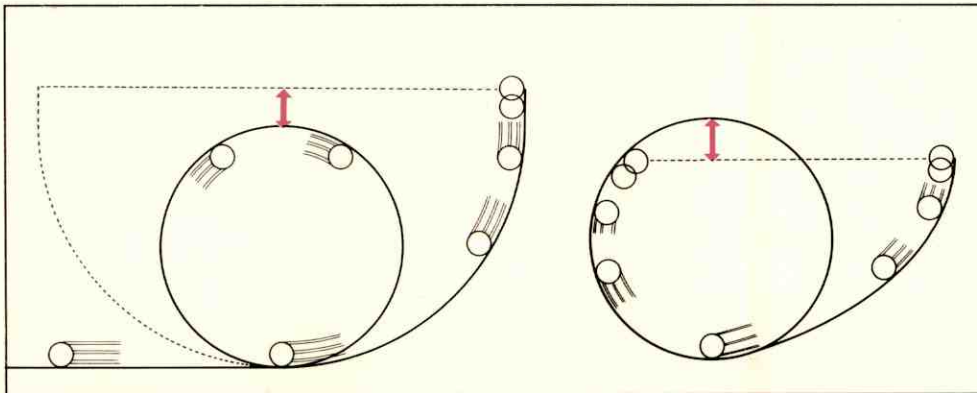
أَجْسَامٌ مُتَحَرِّكَةٌ

تُحْدِثُ فَرَامِلُ الْقِطَارِ قُوَّةً مُضَادَّةً (سَهْمَ أَزْرَق) لِحَرَكَةِ الْقِطَارِ ، فَيَبْطِئُ حَتَّى يَقِفَ . وَلِأَنَّ الرُّكَّابَ لَيْسَتْ لَدَيْهِمْ هَذِهِ الْفَرَامِلُ ، فَإِنَّهُمْ يَسْتَمِرُّونَ فِي الْحَرَكَةِ لِلْأَمَامِ وَيَسْقُطُونَ . وَتَنْتَقِلُ قُوَّةُ التَّوْقِفِ إِلَى الرُّكَّابِ بِوَسِطَةِ الْقُوَّةِ الْمَنْقُولَةِ إِلَى حَلَقَةِ التَّعْلُقِ وَقُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ . وَهَذَا التَّغْيِيرُ فِي الْحَرَكَةِ يَجْعَلُ الرُّكَّابَ يَشْعُرُونَ بِأَنَّ قُوَّةً خَفِيَّةً تَدْفَعُهُمْ لِلْأَمَامِ .

لِمَاذَا لَا يَسْقُطُ الْأَشْخَاصُ مِنْ قِطَارِ الْمَلَاهِي الْمَقْلُوبِ ؟

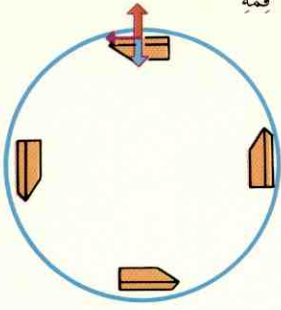
عِنْدَمَا يَدْخُلُ قِطَارُ الْمَلَاهِي السَّرِيعُ إِلَى الْجُزْءِ الْمَقْلُوبِ فِي مَسَارِ حَرَكَتِهِ ، فَإِنَّهُ بِالإِضَافَةِ لاختِطَاطِ السَّلَامَةِ مِنْ عَجَلَاتٍ خَاصَّةٍ وَقَضْبَانٍ مُتَرَاكِبَةٍ ، تَوْجِدُ قُوَى مُتَعَدِّدَةً تَمْنَعُ الْقِطَارَ وَالرُّكَّابَ مِنَ السَّقُوطِ إِلَى الْأَرْضِ . وَالْقُصُورُ الدَّائِي (ص ٢٨ - ٢٩) يَدْفَعُ الْعَرَبَاتِ فِي حِطٍّ مُسْتَقِيمٍ بَيْنَمَا تَضْغُطُ عَلَيْهَا قُضْبَانُ الْمَسَارِ الدَّائِرِيِّ ، فَيَبْدُو الْعَرَبَاتُ كَمَا لَوْ كَانَتْ تُمَسِّكُهَا الْقُضْبَانُ . وَأُنْجِنَاءُ الْمَسَارِ وَتَأْثِيرُ الْجَازِبِيَّةِ عَلَى الْعَرَبَاتِ تُكُونُ مَعَ قُوَّةٍ جَازِبَةٍ إِلَى الْمَرْكَزِ . وَرَغْمَ أَنَّ الرُّكَّابَ يَشْعُرُونَ بِأَنَّ قُوَّةً خَارِجِيَّةً تَضْغُطُ عَلَيْهِمْ إِلَى خَارِجِ مَقَاعِدِهِمْ ، إِلَّا أَنَّ هَذِهِ الْقُوَّةَ هِيَ فِي الْحَقِيقَةِ الْقُوَّةُ الْجَازِبَةُ إِلَى الْمَرْكَزِ ، وَالَّتِي تَتَزَنُ مَعَ قُوَّةِ الْقُصُورِ الدَّائِيِّ لِحَرَكَةِ الْعَرَبَاتِ . وَالْقُصُورُ الدَّائِيُّ مَعَ الْقُوَّةِ الْجَازِبَةِ إِلَى الْمَرْكَزِ يُسَمِّيَانِ مَعَ الْقُوَّةِ الطَّارِدَةِ الْمَرْكَزِيَّةِ لَا تَوْجِدُ فِي الْحَقِيقَةِ ، وَلَكِنَّ الْأَشْخَاصَ يَسْتَخْدِمُونَ أحيانًا هَذَا الْمُصْطَلَحَ كَتَفْسِيرٍ مُخْتَصَرٍ .

(أقصى اليسار) ، فَإِنَّ كَمِّيَّةَ حَرَكَتِ الْعَرَبَاتِ سَتَكُونُ كَبِيرَةً وَكَافِيَةً لِتُكْمِلَ الدَّوْرَانَ دَاخِلَ الْحَلْقَةِ حَتَّى تَخْرُجَ مِنْهَا .



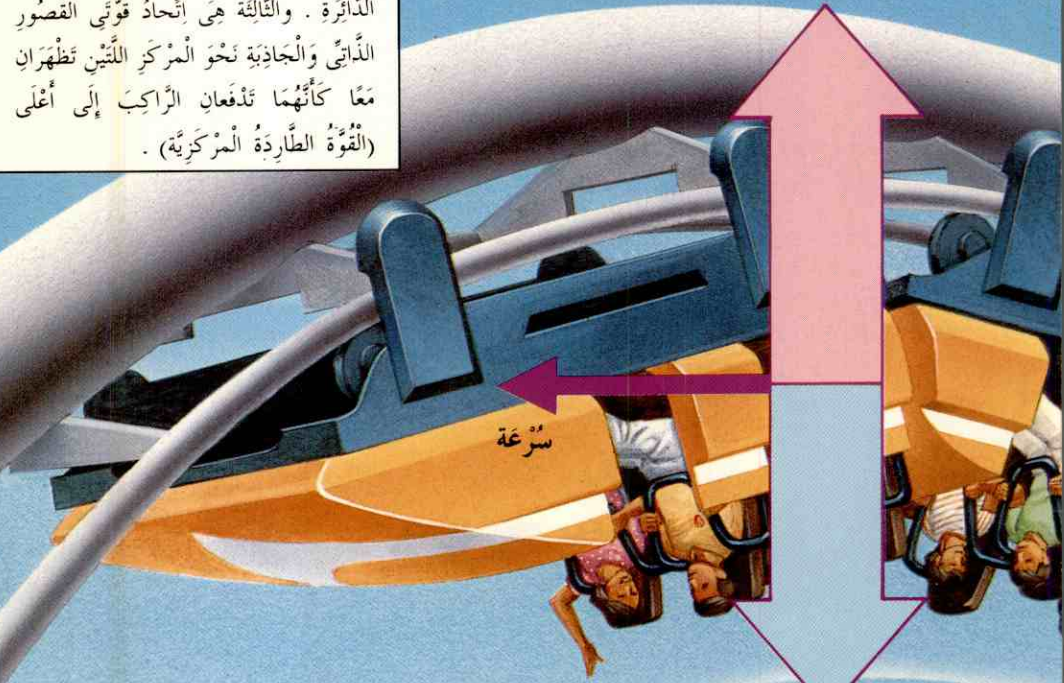
بِنَاءِ كَمِّيَّةِ التَّحَرُّكِ لَا تَسْتَطِيعُ سَيَّارَةُ الدَّوْرَانَ مَقْلُوبَةً دَاخِلَ حَلْقَةٍ إِلَّا إِذَا كَانَتْ كَمِّيَّةُ حَرَكَتِهَا (الكتلة × السرعة) كَبِيرَةً . فَإِذَا كَانَتْ كَمِّيَّةُ الْحَرَكَتِ صَغِيرَةً ، فَإِنَّ الْقُوَّةَ الْمُسَمَّاةَ بِالطَّارِدَةِ الْمَرْكَزِيَّةِ سَتَكُونُ أَقَلَّ مِنْ قُوَّةِ الْجَازِبِيَّةِ فَتَسْقُطُ الْعَرَبَةُ . وَلَكِنْ إِذَا كَانَ مُنْحَدَرُ الْبِدَايَةِ شَدِيدَ الانْحِدَارِ

ثَلَاثُ قُوَى يَتَأَثَّرُ الرَّكَّابُ بِقُوَى مُتَعَدِّدَةٍ عِنْدَ قِمَّةِ



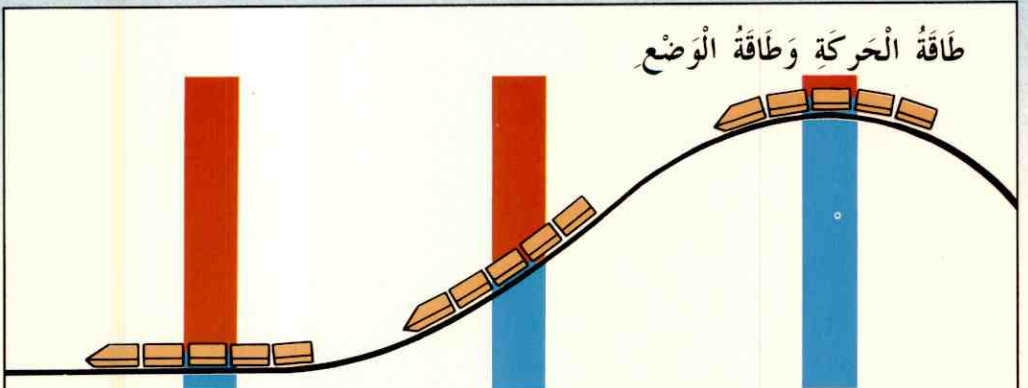
الْمَسَارِ الْحَلَقِيِّ . الْأُولَى هِيَ قُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ الَّتِي تُجذِبُهُ لِأَسْفَلِ . وَالثَّانِيَةُ هِيَ ضَعْفُ الْمَقْعِدِ الَّذِي يَدْفَعُ الرَّكَّابَ نَحْوَ مَرَكِزِ الدَّائِرَةِ . وَالثَّالِثَةُ هِيَ اتِّحَادُ قُوَّتَيْ الْقُصُورِ الدَّائِيَّةِ وَالْجاذِبِيَّةِ نَحْوَ الْمَرَكِزِ اللَّتَيْنِ تَظْهَرَانِ مَعًا كَأَنَّهُمَا تُدْفِعَانِ الرَّكَّابَ إِلَى أَعْلَى (القُوَّةُ الطَّارِدَةُ الْمَرَكِزِيَّةُ) .

قُوَّةُ ظَاهِرِيَّةٍ أَوْ طَارِدَةٍ مَرَكِزِيَّةٍ



قُوَّةُ جاذِبِيَّةٍ إِلَى الْمَرَكِزِ

طَاقَةُ الْحَرَكَةِ وَطَاقَةُ الْوَضْعِ



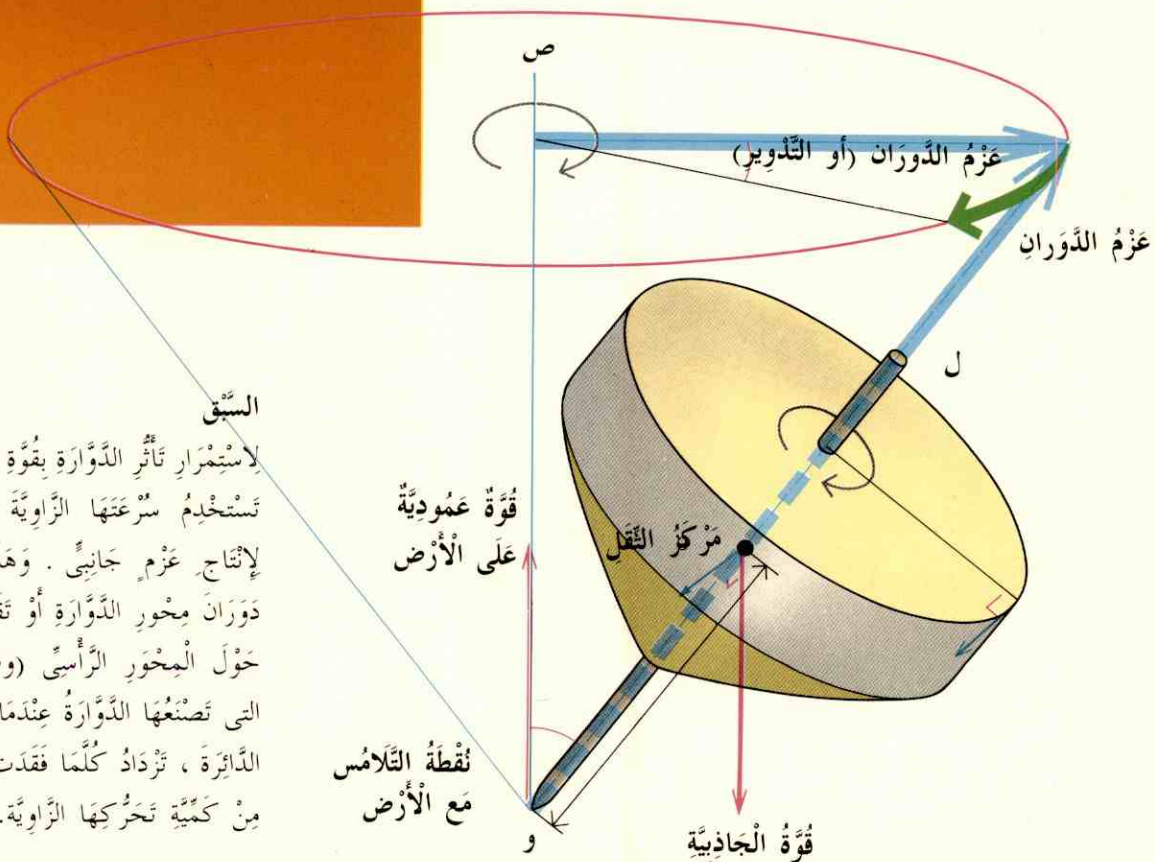
وَعِنْدَ قَاعِ الْمُنْحَدِرِ ، تُكُونُ مُعْظَمُ طَاقَةِ الْوَضْعِ تَقْرِيْبًا (أَزْرَقُ) قَدْ تَحَوَّلَتْ إِلَى طَاقَةِ حَرَكَةٍ (أَحْمَرُ) .

وَبِازْدِيَادِ سُرْعَتِهَا اِثْنَاءَ هُبُوطِهَا ، يَتَحَوَّلُ جُزْءٌ مِنْ طَاقَةِ وَضْعِ الْعَرَبَاتِ إِلَى طَاقَةِ حَرَكَةٍ .

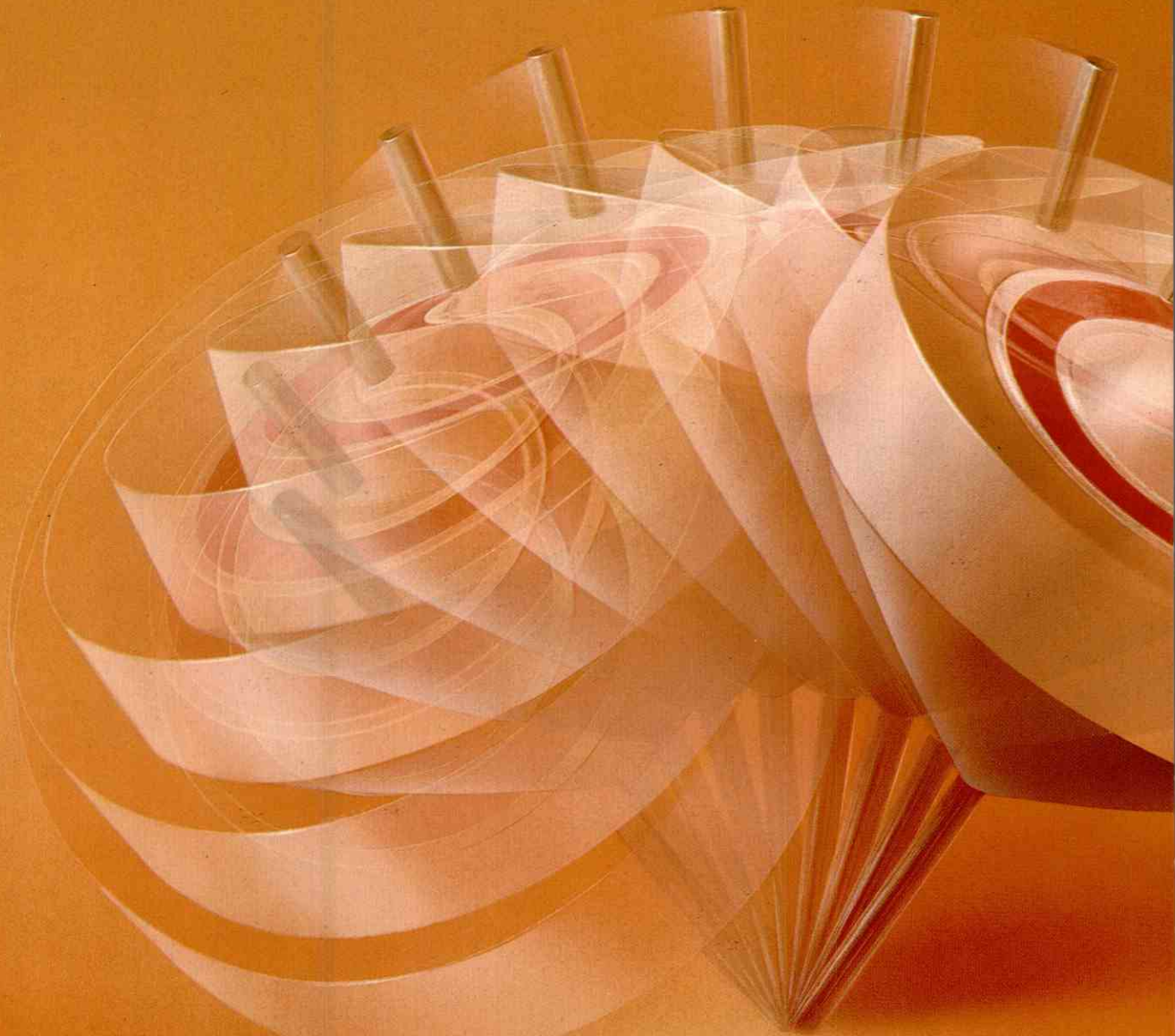
عِنْدَمَا تُبْدَأُ الْعَرَبَاتُ مِنْ أَعْلَى قِمَّةِ الْمُنْحَدِرِ يَكُونُ لَهَا طَاقَةُ وَضْعٍ كَبِيرَةٌ (أَزْرَقُ) وَطَاقَةُ حَرَكَةٍ صَغِيرَةٌ (أَحْمَرُ) .

كَيْفَ تَجْعَلُ الدَّوَّارَةَ (النَّحْلَةَ) قَائِمَةً؟

إِذَا وَضَعْنَا الدَّوَّارَةَ بِحَيْثُ يَرْتَكِزُ مَحْوَرُهَا عَلَى الْأَرْضِ ، فَإِنَّهَا لَا تَسْتَقِرُّ فِي هَذَا الْوَضْعِ . وَلَكِنَّهَا إِذَا أُدِيرَتْ دَوَّرَانًا مِغْزَلِيًّا فَإِنَّهَا قَدْ تَسْتَقِرُّ قَائِمَةً لِعِدَّةِ دَقَائِقٍ . وَالْأَجْسَامُ ذَاتُ الْحَرَكَةِ الدَّوَّرَانِيَّةِ تُؤَثِّرُ عَلَيْهَا قُوَّةُ دَوَّرَانٍ نَاتِجَةٌ عَنْ كَمِّيَّةِ التَّحْرُكِ الرَّاوِي لِهَذِهِ الْأَجْسَامِ (عَزْمُ الْقُصُورِ الذَّائِي حَوْلَ مَحْوَرِ الدَّوَّرَانِ $\times$ السَّرْعَةُ الزَّاوِيَّةِ) . وَهَذِهِ الْقُوَّةُ تُؤَثِّرُ بِعَزْمٍ دَوَّرَانٍ يَجْعَلُ مَحْوَرَ دَوَّرَانِ الدَّوَّارَةِ (وَل) يَدُورُ بَدَلًا مِنْ أَنْ يَقَعَ عَلَى الْأَرْضِ ، وَتَنْتُجُ الْحَرَكَةُ التَّمَايِلِيَّةُ الْمَعْرُوفَةُ لِلدَّوَّارَةِ ، وَيُعْرَفُ ذَلِكَ بِعَزْمِ الدَّوَّرَانِ أَوْ التَّدْوِيرِ . وَلِأَنَّ الْاِحْتِكَاكَ بَيْنَ الْأَرْضِ وَالدَّوَّارَةِ يَجْعَلُهَا تَفْقِدُ بَعْضَ كَمِّيَّةِ تَحْرُكِهَا الرَّاوِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تُبْطِئُ ثُمَّ تَسْقُطُ عَلَى الْأَرْضِ . وَلَا يَفْتَقِرُ اسْتِخْدَامُ الدَّوَّارَةِ عَلَى اللَّعِبِ بِهَا لِلتَّسْلِيَّةِ ، وَلَكِنَّ خَوَاصَّهَا تَجْعَلُهَا مُفِيدَةً فِي اسْتِخْدَامَاتٍ كَثِيرَةٍ . وَأَهْمُ هَذِهِ الْاسْتِخْدَامَاتِ فِي الْجَيروسْكوب ، وَهُوَ لَا يَزِيدُ عَلَى دَوَّارَةٍ مَوْضُوعَةٍ عَلَى مُرْتَكِزٍ هَزَازٍ . وَهُوَ حَسَّاسٌ جِدًّا لِأَيِّ تَغْيِيرٍ فِي الْاِتِّجَاهِ لِأَنَّهُ يُؤَثِّرُ عَلَى عَزْمِ الدَّوَّرَانِ . وَلِذَلِكَ فَهُوَ أَسَاسِيٌّ فِي أَنْظِمَةِ الْمَلَاخَةِ الْجَوِّيَّةِ وَالْبَحْرِيَّةِ ، كَمَا سَهَّلَ التَّحَكُّمَ عَنْ بُعْدٍ فِي إِرْشَادِ سُفُنِ الْفَضَاءِ .

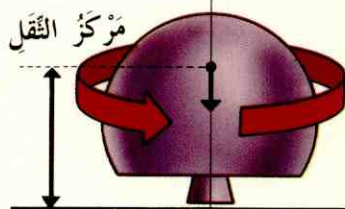


السَّيْق
لِاسْتِمْرَارِ تَأَثُّرِ الدَّوَّارَةِ بِقُوَّةِ الْجَاذِبِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تَسْتَحْدِمُ سُرْعَتَهَا الرَّاوِيَّةَ وَقُوَّةَ الْجَاذِبِيَّةِ لِإِنتَاجِ عَزْمٍ جَانِبِيٍّ . وَهَذَا الْعَزْمُ يُسَبِّبُ دَوَّرَانَ مَحْوَرِ الدَّوَّارَةِ أَوْ تَقَدُّمَهَا فِي دَائِرَةٍ حَوْلَ الْمَحْوَرِ الرَّأْسِيِّ (وَص) . وَالرَّاوِيَّةُ الَّتِي تَصْنَعُهَا الدَّوَّارَةُ عِنْدَمَا يَرْسُمُ الْمَحْوَرُ الدَّائِرَةَ ، تَزْدَادُ كُلَّمَا فَقَدَتِ الدَّوَّارَةُ جُزْءًا مِنْ كَمِّيَّةِ تَحْرُكِهَا الرَّاوِيَّةِ .

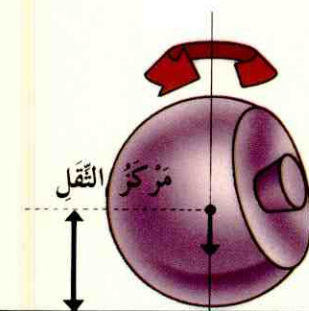


جول

قَرِيبًا مِنْ سَطْحِ الْأَرْضِ . وَلِيَرْفَعَ مَرَكْزُ الثَّقَلِ بَعِيدًا عَنِ الْأَرْضِ ، فَإِنَّ الدَّوَّارَةَ

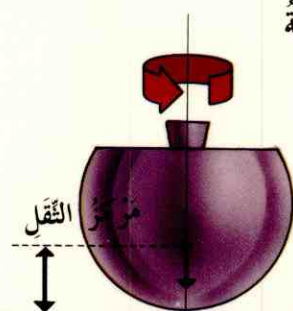


تَدُورُ عَلَى جَانِبِهَا (أَوْسَط). ثُمَّ تَحُولُ بَعْضَ طَاقَتِهَا الْحَرَكَيةِ إِلَى طَاقَةٍ وَضَعِ بِأَنَّ ثَقَلَبَ نَفْسِهَا تَمَامًا لِتَسْتَقِرَّ عَلَى مَقْبَضِهَا وَتَكُونُ أَكْثَرَ اسْتِقْرَارًا .



فَالدَّوَّارَاتُ تَكُونُ أَكْثَرَ اسْتِقْرَارًا عِنْدَمَا يَكُونُ مَرَكْزُ ثَقْلِهَا مُرْتَفِعًا عَنِ الْأَرْضِ . وَعِنْدَمَا تُدِيرُ مِثْلَ هَذَا النَّوعِ مِنَ الدَّوَّارَاتِ (أَعْلَى يَمِين) يَكُونُ مَرَكْزُ الثَّقَلِ

الدَّوَّارَةُ الْمَقْلُوبَةُ



إِذَا وَضِعَتِ الدَّوَّارَةُ الْمُبَيَّنَةُ بِالشَّكْلِ مَقْلُوبَةً ، ثُمَّ أُدِيرَتْ ، فَإِنَّهَا سَوْفَ تَنْقَلِبُ لِتَدُورَ عَلَى مَقْبَضِهَا (أَعْلَى يَسَار). وَالسَّرُّ فِي ذَلِكَ يَكْمُنُ فِي مَرَكْزِ ثَقْلِهَا .

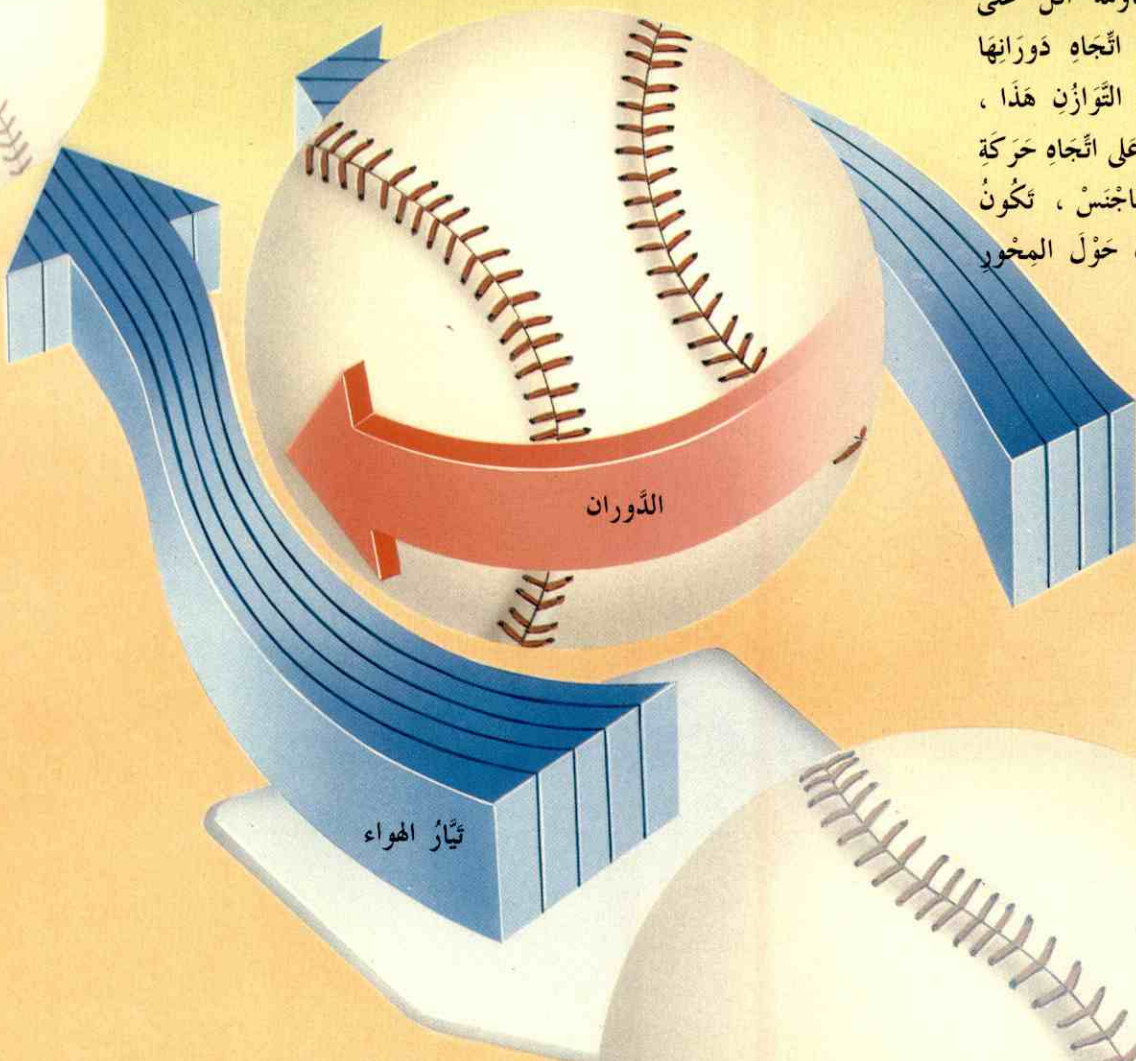
لماذا تأخذ كرة البيسبول مساراً منحنياً ؟

من الهواء معها وهي تدور . ويتحرك الهواء بسرعة أكبر قليلاً على جانب الكرة الذي في اتجاه الدوران . وكلما زادت سرعة الهواء ، قل الضغط الناتج عنه . وهكذا ، يكون ضغط الهواء أقل على جانب الكرة في اتجاه الدوران ، ويكون أكبر على الجانب الآخر للكرة . وكما أن أنظمة الطقس تنتقل من مناطق الضغط العالي إلى المنخفض ، فإن الكرة ينحني اتجاه دورانها ناحية منطقة الضغط الأقل . ومثل هذه الكرة تدور حوالي ١٨ مرة خلال نصف الثانية الأولى لطيرانها إلى الهدف وقد ينحني مسارها بحوالي ١٧٢/١ بوصة .

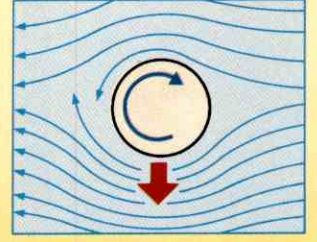
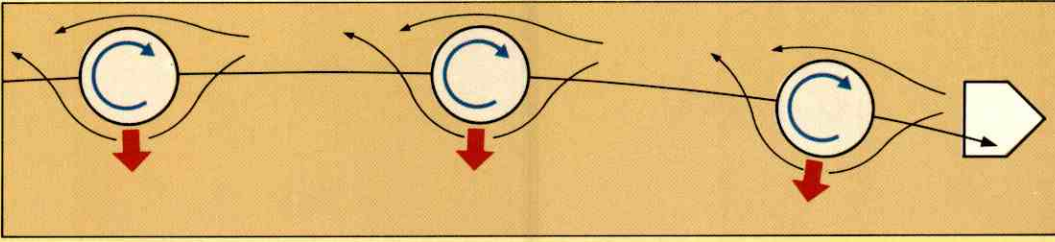
يعتقد بعض الناس أن كرات البيسبول لا تتخذ مساراً منحنياً في الحقيقة ، ولكنه مجرد خداع بصري . ولكن لا عيب البيسبول والعلماء يعرفون أكثر . وقاذف الكرة في الفريق يمكنه أن يجعل الكرة تتخذ مساراً منحنياً أو قافزاً أو تبطئ أثناء طيرانها نحو الهدف . ويتحدد المسار المنحني للرمية بسرعة واتجاه الدوران المغطى للكرة لحظة تركها يد الرامي . وتطبق عليها القوانين الفيزيائية التي تنص على أن مسار الجسم المتحرك يتحدد بمجموعة القوى المؤثرة عليه . وتخطأ كرة البيسبول بـ ٢١٦ غرزة من حيط أحمر . وبمجرد طيران الكرة ، فإن هذه الغرزة تحمّل طبقة

الدوران وتأثير ماجنس

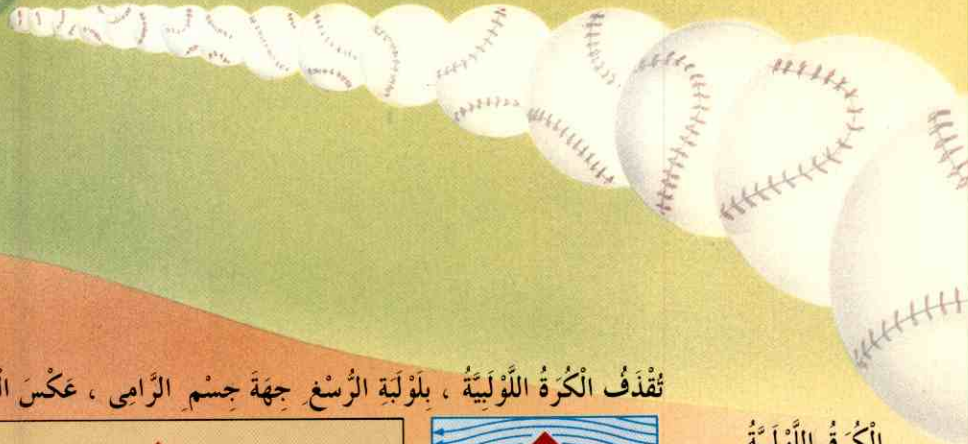
تواجه الكرة مقاومة الهواء أثناء حركتها . وتكون المقاومة أقل على جانب الكرة الذي في اتجاه دورانها (السهم الأحمر) . وعدم التوازن هذا ، يسبب تولد قوة عمودية على اتجاه حركة الكرة . وطبقاً لتأثير ماجنس ، تكون القوة مع معدل الدوران حول المحور والسرعة ، والمقاومة .



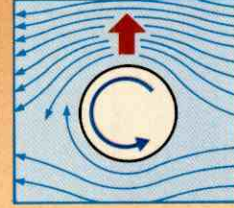
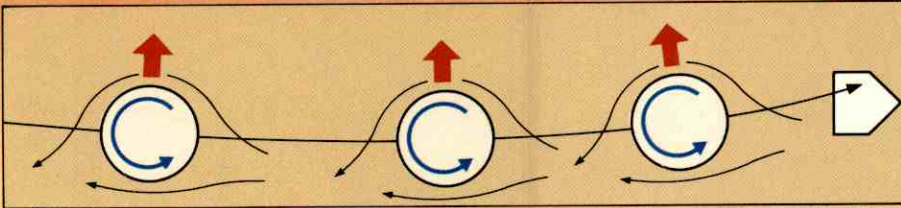
الكرة المنحنية المسار



يَقْدِفُ الرَّاِمِي كُرَةً مُنْحَنِيَةً الْمَسَارِ ، بَلَى رُسْغِهِ بَعِيدًا عَنْ جِسْمِهِ لِتَجْعَلَ الْكُرَةُ تَدُورُ حَوْلَ مَحْوَرِهَا . وَالرَّاِمِي الْأَيْمَنُ يَدِيرُ الْكُرَةَ إِلَى أَسْفَلَ وَضِدَّ اتِّجَاهِ حَرَكَةِ عَقْرَبِي السَّاعَةِ (كَمَا تَظْهَرُ مِنْ أَعْلَى) وَهَذَا يَجْعَلُ الْكُرَةَ تَهْبِطُ فِي حَرَكَةٍ أَوْ انْحِرَافٍ نَاحِيَةِ الْجَانِبِ الْأَيْمَنِ مِنَ الْهَدَفِ . وَلِأَنَّ تَيَّارَ الْهَوَاءِ يَكُونُ أَسْرَعَ عَلَى جَانِبِ الْكُرَةِ فِي اتِّجَاهِ الدَّوْرَانِ ، فَإِنَّ الْكُرَةَ تَنْحَرِفُ فِي اتِّجَاهِ الدَّوْرَانِ .

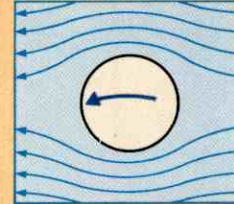
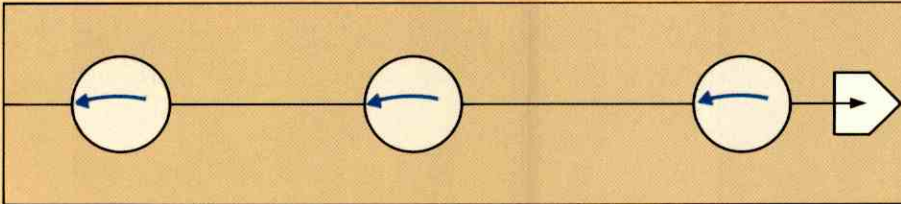


تُقْدَفُ الْكُرَةُ اللَّوْلِيَّةُ ، بِلَوْلَةِ الرُّسْغِ جِهَةً جِسْمِ الرَّاِمِي ، عَكْسَ الْكُرَةِ الْمُنْحَنِيَةِ . وَبِذَلِكَ تَدُورُ الْكُرَةُ



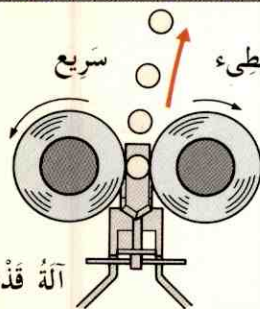
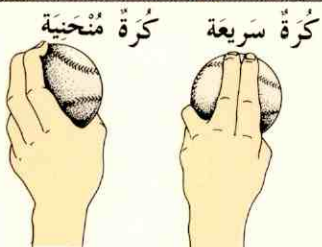
الكرة اللولبية

فِي اتِّجَاهٍ مُضَادٍّ لِدَوْرَانِ الْكُرَةِ الْمُنْحَنِيَةِ ، وَتَصْطَدِّمُ بِالْجَانِبِ الْأَيْسَرِ مِنْ لَوْحَةِ الْهَدَفِ . وَالْكُرَةُ اللَّوْلِيَّةُ لِرَّامِ الْأَيْمَنِ تَنْحَرِفُ ثَجَاةَ صَارِبِ الْأَيْمَنِ .



الكرة السريعة

الْكُرَةُ السَّرِيعَةُ الْجَيِّدَةُ لَيْسَتْ مُجَرَّدَ رَمْيَةٍ مُبَاشِرَةٍ ، بَلْ إِنَّ لَهَا أَيْضًا حَرَكَتَهَا الْخَاصَّةَ . فَعِنْدَ لَحْظَةِ تَحْرِيرِ الْكُرَةِ ، يَجْذِبُ الرَّاِمِي إِلَى أَسْفَلَ عَلَى خَطِّ الْخِيَاطَةِ ، فَتَدُورُ الْكُرَةُ إِلَى الْخَلْفِ ثَجَاةَ الرَّاِمِي . وَهَذَا يُحْدِثُ تَأْثِيرَ مَا جُنَسَ مُوَجَّهًا لِأَعْلَى ، فَتَنْبُ الْكُرَةُ فِي الْهَوَاءِ . وَكُرَةُ سَرِيعَةٌ سُرْعَتُهَا ٩٠ مِيلَ / سَاعَةٍ ، قَدْ تَنْبُ حَتَّى ٤ بُوصَاتٍ .

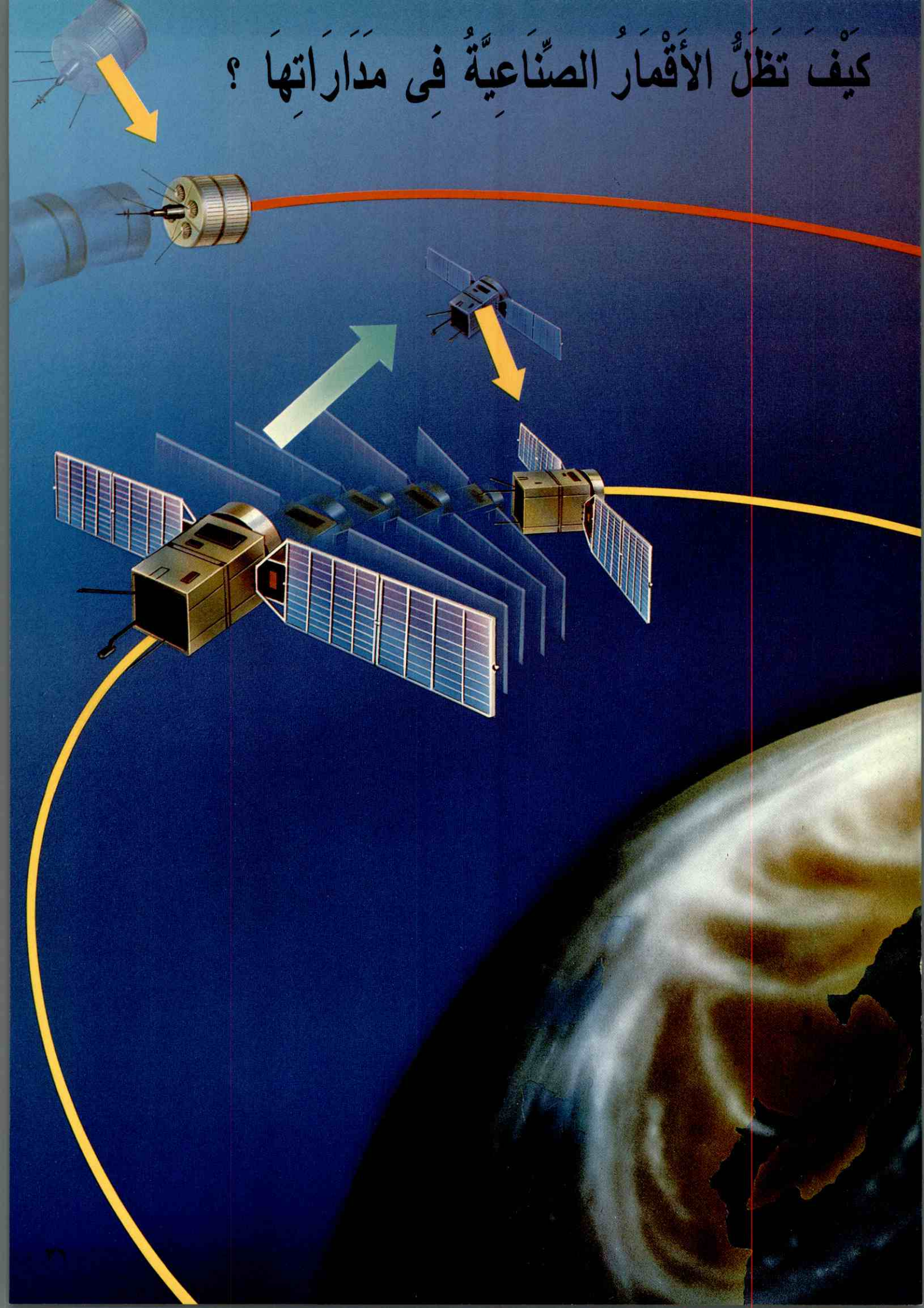


إِمْسَاكُ الْكُرَةِ آلَةُ قَذْفِ الْكُرَاتِ

تَحْدِيدُ دَوْرَانِ الْكُرَةِ

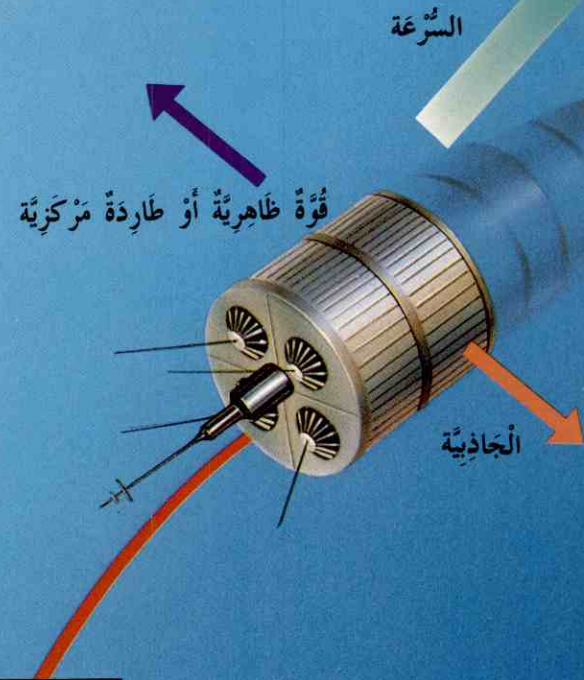
تَخْتَلِفُ الْكُرَةُ الْمُنْحَنِيَّةُ وَاللَّوْلِيَّةُ وَالسَّرِيعَةُ عَنْ بَعْضِهَا فِي سُرْعَةٍ وَاتِّجَاهِ دَوْرَانِ الْكُرَةِ . وَتَأْثِيرُ مَا جُنَسَ يَجْعَلُ الْكُرَةَ تَنْحَرِفُ فِي اتِّجَاهِ دَوْرَانِهَا . وَآلَةُ قَذْفِ الْكُرَاتِ تُؤَلِّدُ دَوْرَانًا مُخْتَلِفًا ، بِتَغْيِيرِ سُرْعَاتِ عَجَلَتَيْ الْقَذْفِ . وَالرَّاِمِي يُغَيِّرُ هَذِهِ السَّرْعَاتِ بِتَغْيِيرِ طَرِيقَةِ إِمْسَاكِهِ الْكُرَةَ .

كَيْفَ تَظَلُّ الْأَقْمَارُ الصَّنَاعِيَّةُ فِي مَدَارَاتِهَا ؟



مَدَارُ الْقَمَرِ الصَّنَاعِيِّ يُمَثِّلُ انْتِزَانًا دَقِيقًا بَيْنَ الْقُصُورِ الدَّائِي وَالْجاذِبِيَّةِ . فَقُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ تَجْذِبُ الْقَمَرَ الصَّنَاعِيَّ بِاسْتِمْرَارٍ نَحْوَ الْأَرْضِ ، بَيْنَمَا الْقُصُورُ الدَّائِي يَحْفَظُ الْقَمَرَ الصَّنَاعِيَّ مُتَحَرِّكًا فِي حُطٍّ مُسْتَقِيمٍ . وَلَوْلَا الْجاذِبِيَّةُ ، لَتَسَبَّبَ الْقُصُورُ الدَّائِي لِلْقَمَرِ الصَّنَاعِيِّ فِي تَحْرِيكِهِ خَارِجَ الْمَدَارِ الْأَرْضِيِّ مُنْطَلِقًا فِي الْفَضَاءِ . وَلَكِنْ عِنْدَ كُلِّ نَقْطَةٍ فِي الْمَدَارِ ، تَكْبُحُ الْجاذِبِيَّةُ الْقَمَرَ الصَّنَاعِيَّ .

وَلِيَحْدُثَ الْانْتِزَانُ بَيْنَ الْقُصُورِ الدَّائِي وَالْجاذِبِيَّةِ ، يَجِبُ أَنْ يَتَحَرَّكَ الْقَمَرُ الصَّنَاعِيُّ بِسُرْعَةٍ مُنَاسِبَةٍ . لِأَنَّهُ لَوْ تَحَرَّكَ بِسُرْعَةٍ كَبِيرَةٍ ، لَتَغَلَّبَ الْقُصُورُ الدَّائِي عَلَى الْجاذِبِيَّةِ ، وَخَرَجَ الْقَمَرُ مِنَ الْمَدَارِ . وَحِسَابُ سُرْعَةِ الْقَمَرِ الصَّنَاعِيِّ الَّتِي تُدْفَعُهُ خَارِجَ مَدَارِ الْأَرْضِ — وَهِيَ سُرْعَةُ الْهَرُوبِ — يَلْعَبُ دَوْرًا هَامًّا عِنْدَ إِطْلَاقِ سَفِينِ الْفَضَاءِ . وَإِذَا كَانَتْ سُرْعَتُهُ أبطأً مِنَ اللَّازِمِ ، تَكْسِبُ الْجاذِبِيَّةُ الْمَعْرَكَةَ ، وَيَتَدَفَّعُ الْقَمَرُ الصَّنَاعِيُّ نَحْوَ الْأَرْضِ . وَهَذَا هُوَ مَا حَدَثَ عَامَ ١٩٧٩ حِينَ بَدَأَتْ مَحْطَّةُ الْفَضَاءِ الْأَمْرِيكِيَّةُ سِكَايَ لَاب تُبْطِئُ سُرْعَتَهَا نَتِيجَةً مُقَاوَمَةِ الطَّبَقَاتِ الْخَارِجِيَّةِ لِلْغِلَافِ الْهَوَائِيِّ لِلْأَرْضِ . فَانْدَفَعَتْ سَفِينَةُ الْفَضَاءِ نَحْوَ الْأَرْضِ . وَتَحَطَّمَتْ عَلَى سَطْحِهَا .

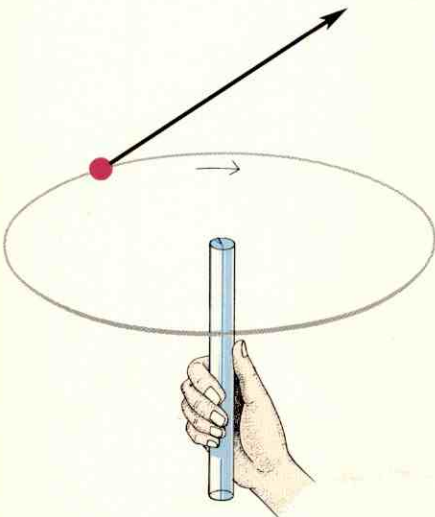


تَقِلُّ قُوَّةُ الْجاذِبِيَّةِ بِازْدِيَادِ الْمَسَافَةِ ، وَلِذَلِكَ تَتَغَيَّرُ السَّرْعَةُ اللَّازِمَةُ لِحِفْظِ قَمَرٍ صِنَاعِيٍّ فِي مَدَارِهِ . وَيَسْتَطِيعُ الْمُهَنْدِسُونَ حِسَابَ ارْتِفَاعِ الْمَدَارِ وَسُرْعَةِ الْقَمَرِ الصَّنَاعِيِّ فِيهِ . فَمَثَلًا أَيُّ قَمَرٍ صِنَاعِيٍّ أَرْضِيٍّ ثَابِتٍ — وَهُوَ الَّذِي يَظُلُّ فَوْقَ نَفْسِ بُقْعَةٍ الْأَرْضِ دَائِمًا — يَجِبُ أَنْ يَدُورَ دَوْرَةً وَاحِدَةً كُلَّ ٢٤ سَاعَةً مُتَّزِمًا مَعَ دَوْرَانِ الْأَرْضِ ، وَعَلَى ارْتِفَاعِ ٢٢٣٠٠ مِيلًا .



الْجاذِبِيَّةُ وَالْقُصُورُ الدَّائِي

يُمْكِنُ تَمَثُّيلُ التَّوَازُنِ الَّذِي يُحْدِثُهُ الْقَمَرُ الصَّنَاعِيُّ مَعَ الْجاذِبِيَّةِ وَالْقُصُورِ الدَّائِي بِإِدَارَةِ ثِقَلٍ فِي نِهَازَةِ حَبْلِ . فَالْقُصُورُ الدَّائِي يَجْذِبُ الثَّقَلَ دَائِمًا إِلَى الْخَارِجِ ، بَيْنَمَا الشَّدُّ فِي الْحَبْلِ — وَهُوَ يُمَثِّلُ الْجاذِبِيَّةَ — يَحْفَظُ الثَّقَلَ فِي مَدَارِهِ الدَّائِرِيِّ . فَإِذَا قُطِعَ الْحَبْلُ (الشَّكْلُ) يَطِيرُ الثَّقَلُ فِي الْهَوَاءِ فِي مَسَارٍ مُسْتَقِيمٍ عَمُودِيٍّ عَلَى نَصْفِ الْقَطْرِ لَحْظَةً الْقَطْعِ .



كَيْفَ يَمْتَنِّى رَاكِبُو الْأَمْوَاجِ لَوْحِ الرُّكُوبِ ؟

الْقَمَرِى . وَعِنْدَ تَحْرُكِهَا نَحْوَ الشَّاطِئِ ، ثَقُلَ سُرْعَتُهَا ،
وَتُصْبِحُ أَطْوَلَ وَأَضْيَقَ (أَسْفَلَ يَسَارَ) . وَيَسْتَفِيدُ رَاكِبُو
الْأَمْوَاجِ مِنْ هَذِهِ الْحَرَكَةِ ، بِإِمْسَاكِ مَوْجَةٍ بَادِئَةٍ فِي
التَّكْسُرِ . فَيَقْفُونَ عَلَى مُوَحَّرَةٍ مُنْتَصَفِ الْوَاحِهِمْ لِيَتَزَنَ
أَوْرَائِهِمْ ، وَيُوجِّهُونَ مُقَدِّمَةَ الْأَلْوَحِ بَعِيدًا عَنِ الْمَاءِ ، ثُمَّ
يُنَازِلُونَ بِجَوَانِبِ الْوَاحِهِمْ غَيْرَ الْمَوْجَةِ . وَيَنْدَفِعُ لَوْحُ
الرُّكُوبِ إِلَى الْأَمَامِ بِمُحَصَّلَةِ قُوَّةِ الْجَازِبِيَّةِ وَقُوَّةِ الدَّفْعِ
وَحَرَكَةِ الْمَوْجَةِ إِلَى الْأَمَامِ . وَالنَّيْجَةُ ، انْزِلَاقُ اللَّوْحِ
أَسْفَلَ الْمَوْجَةِ عِنْدَ تَحْرُكِهَا نَحْوَ الشَّاطِئِ .

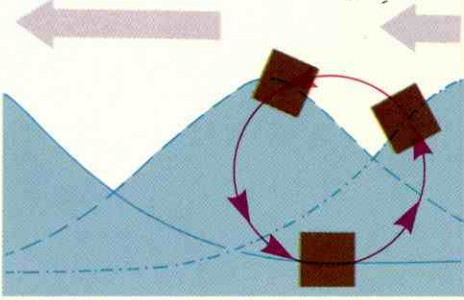
السُّهُولَةُ الظَّاهِرِيَّةُ الَّتِي يُمَارَسُ بِهَا رَاكِبُو الْأَمْوَاجِ
سِبَاقَاتِهِمْ ، تُعْطَى فِكْرَةً حَاطِئَةً عَنِ الْقُوَى الْمُعْقَدَةِ الَّتِي
تَحْكُمُ رُكُوبَ الْأَمْوَاجِ . وَتُخْتَلِفُ الْأَمْوَاجُ اخْتِلَافًا
كَبِيرًا فِي أَشْكَالِهَا بَيْنَ مَصْدَرِ تَكُونِهَا وَالشَّاطِئِ ، وَلَا
تُرْتَفِعُ الْأَمْوَاجُ ارْتِفَاعًا مُنَاسِبًا إِلَّا قَرَبَ الشَّاطِئِ حَيْثُ
يُمْكِنُ لِرَاكِبِي الْأَمْوَاجِ رُكُوبُهَا .

وَيَبْدَأُ تَكُونُ الْأَمْوَاجِ بَعِيدًا عَنْ أَى شَاطِئٍ فِي وَسْطِ
الْمُحِيطِ ، نَتِيجَةً تَيَّارَاتِ الْمُحِيطِ وَالرِّيَّاحِ وَجَذْبِ الْمَدِّ



أَمْوَاجُ غُرْضِ الْمُحِيطِ

الْأَمْوَاجُ الْبَعِيدَةُ عَنِ الشَّاطِئِ ، تَكُونُ ضَحْلَةً جَدًّا وَفَائِقَةَ السَّرْعَةِ وَيَصْعُبُ رُكُوبُهَا . وَعِنْدَمَا تَتَقَدَّمُ مَوْجَةٌ ، فَإِنَّ جِسْمًا مِثْلَ لَوْحِ الْحَشَبِ هَذَا (أَسْفَلَ) يَرْتَفِعُ وَيَتَقَدَّمُ قَلِيلًا إِلَى الْأَمَامِ . وَلَكِنْ عِنْدَمَا تَمُرُّ الْمَوْجَةُ ، يَعُودُ اللَّوْحُ إِلَى الْخَلْفِ إِلَى نُقْطَةِ الْبَدَايَةِ .



الْإِمْسَاكُ بِالْمَوْجَةِ

عِنْدَمَا يَبْدَأُ رَاكِبُ الْأَمْوَاجِ رُكُوبَهُ ، تَكُونُ الْمَوْجَةُ ضَحْلَةً وَمُتَحَرِّكَةً بِسُرْعَةٍ نَحْوَ الشَّاطِئِ . وَلَكِنْ عِنْدَمَا تَقْتَرِبُ الْمَوْجَةُ مِنَ الشَّاطِئِ ، تُبْطِئُ وَتُصْبِحُ أَكْثَرَ انْجِدَارًا ، مُتَحَدِّثَةً الرَّاَكِبِ فِي حِفْظِ تَوَازُنِهِ عِنْدَمَا تُبْلَغُ أَقْصَى ارْتِفَاعِهَا .



رَاكِبُ أَمْوَاجٍ يَنْزِلُ إِلَى أَسْفَلِ مَوْجَةٍ مُتَكَسِّرَةٍ

تَارِيخُ مَوْجَةٍ مَوْجَةٍ فِي غُرْضِ الْبَحْرِ



الْمَوْجَاتُ الَّتِي تَنْشَأُ فِي غُرْضِ الْبَحْرِ ، تَكُونُ عَرِيضَةً وَمُتَنَاسِقَةً ، وَتَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ .

مَوْجَةٌ بِالْقُرْبِ مِنَ الشَّاطِئِ



عِنْدَمَا تَقْتَرِبُ الْمَوْجَةُ مِنَ الشَّاطِئِ الْأَقْلَ عُمُقًا ، تُبْطِئُ ، وَتَنْتَأُ مِنْ أَعْلَى مُنْقَلِبَةٍ عَلَى نَفْسِهَا .



3 الآلات

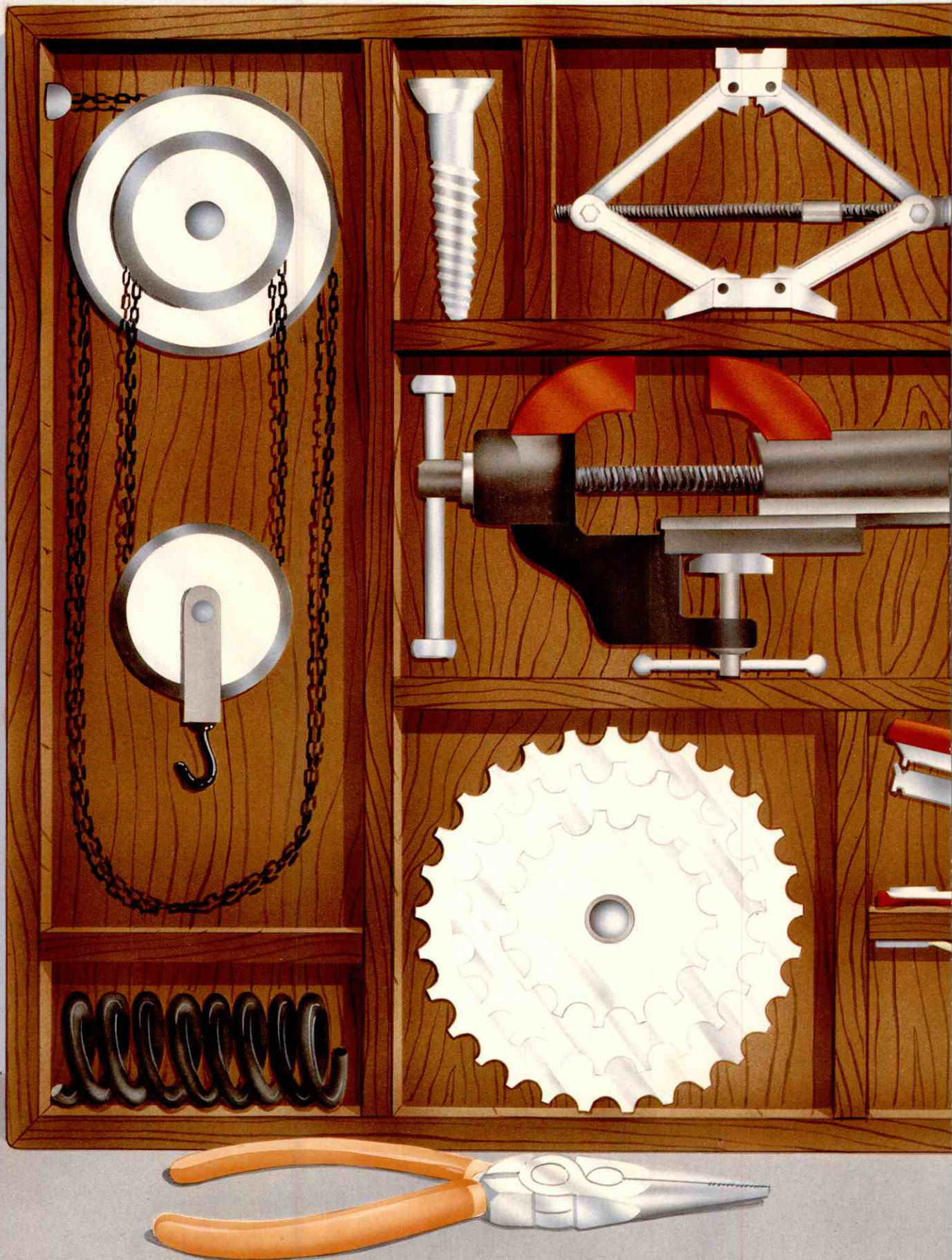
البسيطة

مُعْظَمُ الآلاتِ الْحَدِيثَةِ ، مَهْمَا بَلَغَتْ دَرَجَةُ تَعْقِيدِهَا ، تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجْمُوعَةٍ قَلِيلَةٍ مِنْ أَجْزَاءٍ مُتَحَرِّكَةٍ أَسَاسِيَّةٍ . وَهَذِهِ الْأَجْزَاءُ تُسَمَّى الآلاتِ الْبَسِيطَةِ مِثْلَ الرَّافِعَةِ وَالْمُسْتَوَى الْمَائِلِ وَالْعَجَلَةِ . وَقَدْ خَدَمَتِ الْعُنْصُرَ الْبَشَرِيَّ خِدْمَاتٍ جَلِيلَةً مُنْذُ فَجَّرَ الْحَضَارَةُ . وَبِاسْتِثْنَاءِ الْأَجْهَزَةِ الْأَلِكْتَرُونِيَّةِ ، فَإِنَّ رَوَائِعَ الْأَجْهَزَةِ الْمِيكَانِيكِيَّةِ الْمُعْقَدَةِ الْيَوْمَ تَنَحَدِرُ مِنْ سُلَالَةِ الْأَدَوَاتِ الَّتِي اسْتُخْدِمَتْ مُنْذُ آلَافِ السِّنِينَ لِقَطْعِ الْأَشْجَارِ وَبِنَاءِ الْمَسَاكِينِ وَإِقَامَةِ الْأَهْرَامَاتِ الْعَظِيمَةِ .

وَقَدْ صَنَّفَ الْفِيزِيَاثِيُّونَ الآلاتِ الْبَسِيطَةَ إِلَى خَمْسَةِ أَنْوَاعٍ : الرَّافِعَةِ ، وَالْعَجَلَةِ وَالْمَحْوَرِ ، وَالْبَكْرَةِ ، وَالْمُسْتَوَى الْمَائِلِ ، وَالْبَرِيْمَةِ . وَكُلٌّ مِنْهَا يَعْمَلُ بِأَحَدِ ثَلَاثِ طُرُقٍ . فَقَدْ تَأْخُذُ الْقُوَّةَ الْمُؤَثَّرَةَ عَلَيْهَا مِنْ أَحَدِ الْأَشْخَاصِ ، وَتُعِيدُ تَوْجِيهَهَا ، مِثْلَ جَعْلِ أَحَدِ الْأَشْخَاصِ يَجْذِبُ شَيْئًا بَدَلًا مِنْ أَنْ يَدْفَعَهُ . أَوْ يُمَكِّنُهَا تَحْوِيلَ مَجْهُودٍ أَوْ قُوَّةٍ أَكْبَرَ ، وَهُوَ مَفْهُومٌ يُعْرَفُ بِالْفَائِدَةِ الْمِيكَانِيكِيَّةِ . أَوْ يُمَكِّنُهَا تَكْبِيرُ الْمَسَافَةِ الَّتِي تُؤَثِّرُ عَلَيْهَا الْقُوَّةُ . وَمَعَ أَنَّ هَذِهِ الْآلاتِ لَا تُقَلِّلُ مِقْدَارَ الشُّغْلِ الْمَطْلُوبِ لِأَدَاءِ عَمَلٍ ، فَإِنَّهَا تُقَلِّلُ الْمَجْهُودَ الَّذِي يَبْذُلُهُ مُسْتَخْدِمُهَا . وَيُمْكِنُ أَدَاءُ مُعْظَمِ الْأَعْمَالِ الصَّعْبَةِ بِطَرِيقَةٍ أَسْهَلٍ ، بِاسْتِخْدَامِ آلَةِ الْبَسِيطَةِ الْمُنَاسِبَةِ وَحَدِّهَا أَوْ مَعَ آلاتٍ أُخْرَى .

مِنْ أَوْتَاشِ الْبِنَاءِ إِلَى فَتَاحَاتِ الْعُلْبِ إِلَى مُعْظَمِ الْأَدَوَاتِ الَّتِي تَرَاهَا هُنَا ، فَإِنَّ الْأَجْهَزَةَ الْمِيكَانِيكِيَّةَ تَعْتَمِدُ فَقَطْ عَلَى نَظَرِيَّاتٍ بَسِيطَةٍ قَلِيلَةٍ .



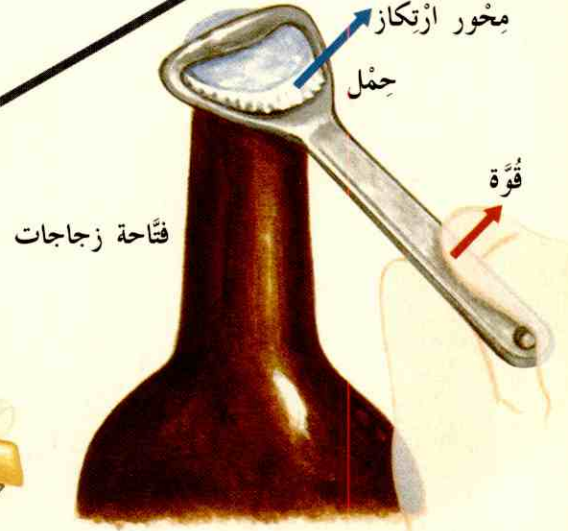


مَا هِيَ الرَّوَافِعُ ؟

الرَّافِعَةُ هِيَ عَمُودٌ مَتِينٌ يَدُورُ حَوْلَ نَقْطَةِ تَسْمَى مَحْوَرِ الْأَرْتِكَازِ . وَبَوْضِعَ جِسْمٍ يُرَادُ تَحْرِيكُهُ وَيُسَمَّى الْجَمْلُ أَوْ الثَّقْلُ — عِنْدَ إِحْدَى نَقْطِ الْعُمُودِ ، ثُمَّ التَّأْيِيرُ بِقُوَّةٍ عِنْدَ نَقْطَةٍ أُخْرَى مِنَ الْعُمُودِ ، فَإِنَّ الشَّخْصَ يُمَكِّنُهُ رَفْعُ أَوْ تَحْرِيكُ الْجِسْمِ بِسُهُولَةٍ أَكْثَرَ مِمَّا لَوْ اسْتَحْدَمَ يَدَهُ .

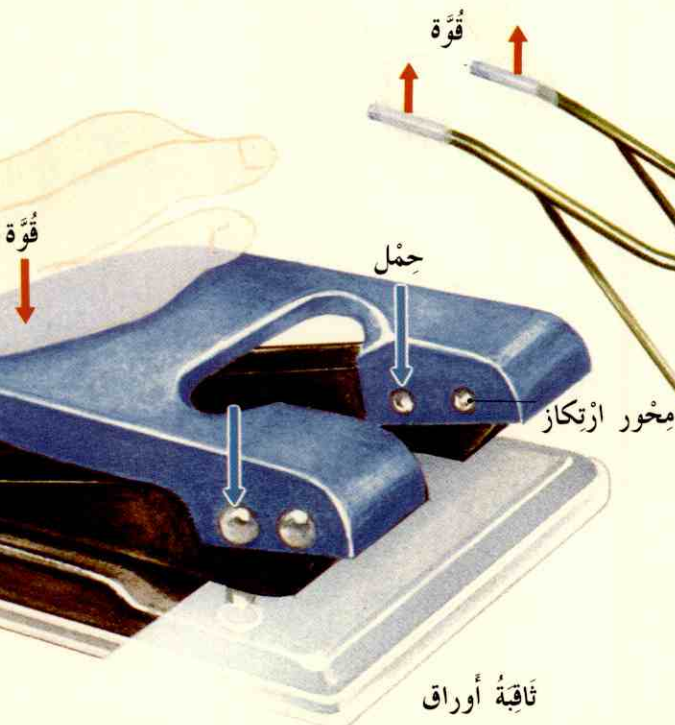
وَتَعْمَلُ الرَّوَافِعُ بِنَظَرِيَّةٍ بَسِيطَةٍ : الْقُوَّةُ $\times$ بُعْدُهَا عَنْ مَحْوَرِ الْأَرْتِكَازِ = الثَّقْلُ $\times$ بُعْدُهُ عَنْ مَحْوَرِ الْأَرْتِكَازِ . وَكُلَّمَا زَادَ طُولُ ذِرَاعِ الْقُوَّةِ ، كُلَّمَا زَادَ تَكْبِيرُ الْقُوَّةِ ، وَزَادَتْ سُهُولَةُ تَحْرِيكِ الثَّقْلِ . وَكُلَّمَا قَلَّتْ أَيْضًا الْمَسَافَةُ الَّتِي يَتَحَرَّكُهَا الثَّقْلُ ، وَهِيَ مِيزَةٌ كَبِيرَةٌ لِلرَّافِعَةِ .

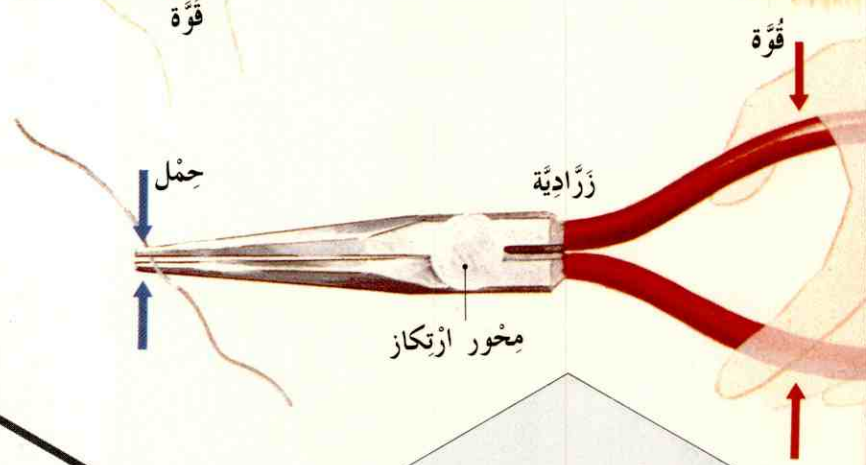
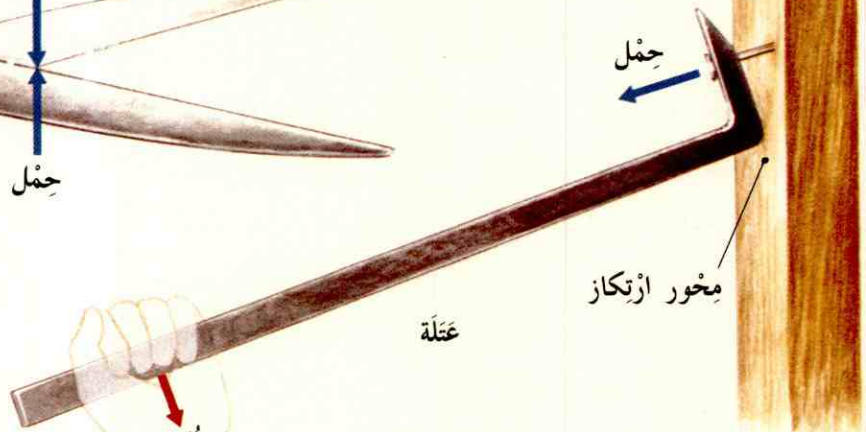
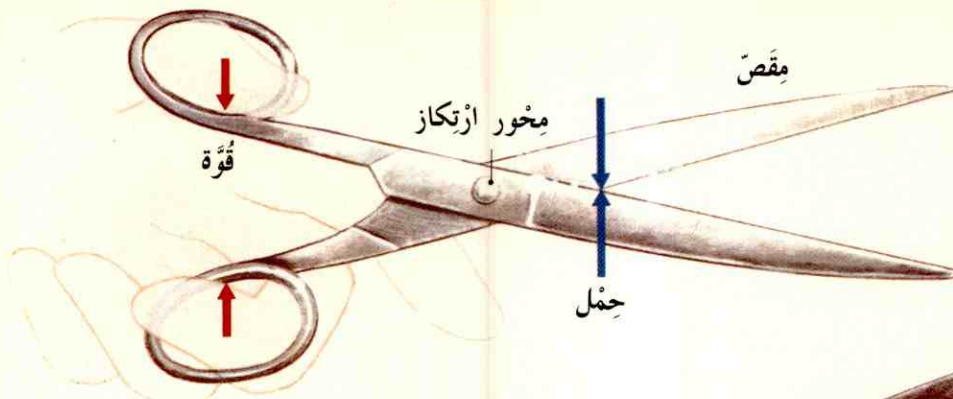
وَفِي الْأَشْكَالِ الْمُبَيَّنَةِ ، الْأَنْوَاعُ الثَّلَاثُ لِلرَّوَافِعِ الَّتِي تَخْتَلِفُ عَنْ بَعْضِهَا الْبَعْضَ فِي مَوْضِعِ مَحْوَرِ الْأَرْتِكَازِ بِالنَّسْبَةِ لِلْقُوَّةِ وَالثَّقْلِ (الْحَمْلِ) .



النَّوعُ الثَّانِي لِلرَّوَافِعِ

فِي النَّوعِ الثَّانِي لِلرَّوَافِعِ يَكُونُ مَحْوَرُ الْأَرْتِكَازِ عِنْدَ أَحَدِ الطَّرَفَيْنِ ، وَالْقُوَّةُ تُؤَثِّرُ عِنْدَ الطَّرَفِ الْآخَرِ ، أَمَّا الْجَمْلُ فَيُوضَعُ بَيْنَهُمَا (كَمَا يَظْهَرُ فِي الرَّسْمِ الْأَرْجَوَانِيِّ الْمُقَابِلِ) . وَعَرَبَةُ الْحَدِيقَةِ وَفَتَاحَةُ الرُّجَاجَاتِ وَالدَّبَاسَةُ وَثَاقِبَةُ الْوَرَقِ كُلُّهَا رَوَافِعُ مِنَ النَّوعِ الثَّانِي ، وَتَيْمُّ فِيهَا تَكْبِيرُ الْقُوَّةِ .

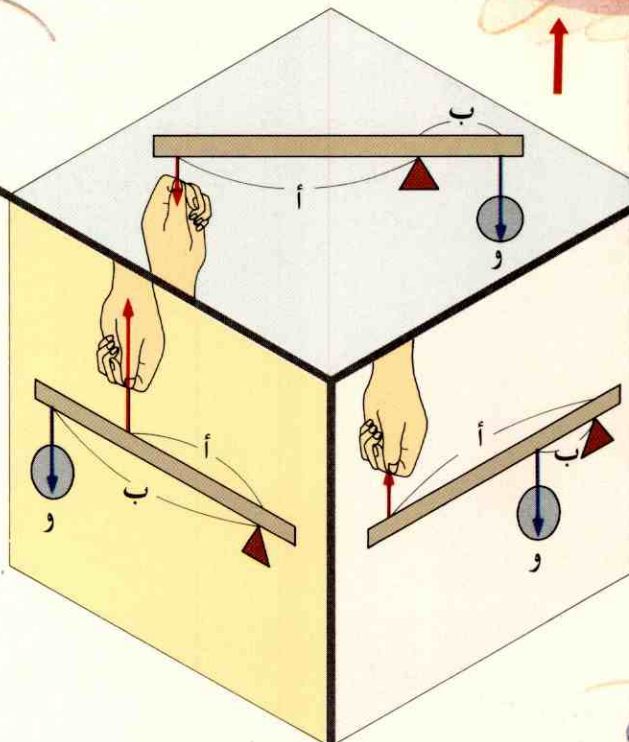




النَّوعُ الْأَوَّلُ لِلرَّوَافِعِ
 وَهُوَ النَّوعُ شَائِعُ الْإِسْتِخْدَامِ مِنَ الرَّوَافِعِ ،
 وَيَكُونُ فِيهِ مَحَوَّرُ الْإِزْتِكَازِ بَيْنَ الْقُوَّةِ
 وَالْحِمْلِ (الرَّسْمُ الْأَزْرَقُ) وَلَهُ أَشْكَالٌ
 مُخْتَلِفَةٌ مِنْهَا الْعَتَلَةُ ، وَالْمَقَصُّ ،
 وَالزَّرَادِيَّةُ .



النَّوعُ الثَّلَاثُ لِلرَّوَافِعِ
 وَفِي هَذَا النَّوعِ تُؤَثِّرُ الْقُوَّةُ بَيْنَ مَحَوَّرِ الْإِزْتِكَازِ
 وَالْحِمْلِ (الرَّسْمُ الْأَصْفَرُ) . فَذِرَاعَا الْمِلْقَاطِ يُكُونَانِ
 رَافِعَةً مِنَ النَّوعِ الثَّلَاثِ وَيَتَقَابَلَانِ عِنْدَ مَحَوَّرِ
 الْإِزْتِكَازِ . وَالْمَكْنَسَةُ تُكَبِّرُ ذِرَاعَ الْقُوَّةِ ، فَتَقِلُّ
 الْقُوَّةُ الْمُسْتَحْدَمَةُ .



أ = ذِرَاعُ الْقُوَّةِ
 ب = ذِرَاعُ الْحِمْلِ
 و = الْحِمْلُ

كَيْفَ تَعْمَلُ الْمُسْتَوِيَّاتُ الْمَائِلَةُ ؟

المنجلة

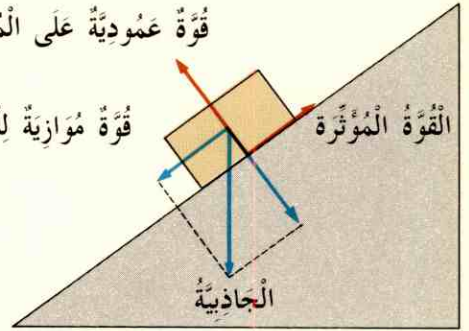
وَلِلْمُسْتَوِيَّاتِ الْمَائِلَةِ أَشْكَالٌ عَدِيدَةٌ . فَالْقَلَاوُوظُ — مَثَلًا — يَتَكَوَّنُ مِنْ مُسْتَوًى مَائِلٍ ، هُوَ أَسِنَّةُ الْقَلَاوُوظِ الْمَلْفُوفَةِ حَوْلَ أُسْطُوَانَةٍ . وَعِنْدَ إِدَارَةِ الْقَلَاوُوظِ ، تَتَعَمَّقُ الْأَسِنَّةُ فِي الْجِسْمِ ، وَتُمْسِكُ بِهِ بِشِدَّةٍ بِسَبَبِ الْاِخْتِكَاكِ الْكَبِيرِ الْمُتَوَلِّدِ بَيْنَهَا وَبَيْنَ الْجِسْمِ . وَالْمَنْجِلَةُ تُحَوِّلُ فِعْلَ الرَّافِعَةِ وَدَوْرَانَ الْقَلَاوُوظِ إِلَى ضَعْفٍ فِي حِطٍّ مُسْتَقِيمٍ ، مِثْلَ الرَّافِعَةِ اللَّوْلِيَّةِ الَّتِي تَرْفَعُ الْأَجْسَامَ بِنَفْسِ النَّظَرِيَّةِ .

الْمُسْتَوِيَّاتُ الْمَائِلَةُ تُشَبِّهُ الرَّوَّافِعَ فِي أَنَّهَا تُقَلِّلُ الْجُهْدَ اللَّازِمَ لِرَفْعِ جِسْمٍ مَا . فَمَثَلًا يَصْعَبُ رَفْعُ كُتْلَةٍ وَزْنُهَا ١٠٠ رِطْلٍ ، وَلَكِنْ يَسْهُلُ رَفْعُهَا بِسَحْبِهَا إِلَى أَعْلَى مُنْحَدَرٍ . فَوَضِعْ الْكُتْلَةَ عَلَى سَطْحٍ مَائِلٍ يُوزَّعُ ثَقْلُهَا إِلَى مُرَكَّبَتَيْنِ : إِحْدَاهُمَا مُوَازِيَةٌ لِلْسَّطْحِ ، وَالْأُخْرَى عَمُودِيَّةٌ عَلَيْهِ . وَلِسَحْبِ الْجِسْمِ عَلَى الْمُسْتَوًى الْمَائِلِ ، فَإِنَّهُ عَلَى الشَّخْصِ أَنْ يَتَغَلَّبَ فَقَطْ عَلَى الْمُرَكَّبَةِ الْمُوَازِيَةِ لِلْسَّطْحِ الَّتِي يَزِيدُ مِقْدَارُهَا بِزِيَادَةِ مِيلِ السَّطْحِ .

القوى على مستوى مائل

قوة عمودية على المستوى

قوة موازية للمستوى



أَيُّ جِسْمٍ عَلَى مُسْتَوًى مَائِلٍ ، يُحَلَّلُ وَزْنُهُ إِلَى مُرَكَّبَتَيْنِ مُوَازِيَةٍ وَعَمُودِيَّةٍ عَلَى الْمُسْتَوًى . وَسَحْبُ الْجِسْمِ عَلَى الْمُسْتَوًى لِأَعْلَى يَتَطَلَّبُ قُوَّةً مُسَاوِيَةً لِمُرَكَّبَةِ وَزْنِهِ الْمُوَازِيَةِ لِلْمُسْتَوًى .

الْقَلَاوُوظُ وَالْمُسْتَوًى الْمَائِلُ

مِنْ السَّهْلِ مُمْلَاحَظَةُ الْعَلَاقَةِ

بَيْنَ الْمُسْتَوًى الْمَائِلِ

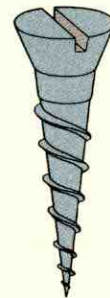
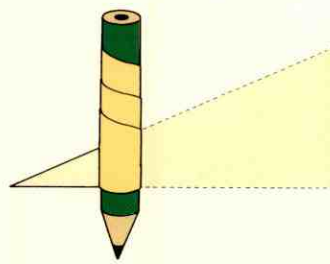
وَالْقَلَاوُوظِ ، بِلَفِّ وَرَقَةٍ

تُمَثِّلُ الْمُسْتَوًى الْمَائِلَ

(يَسَارَ) حَوْلَ أُسْطُوَانَةٍ .

تَجِدُ أَنَّ الْحَزُونَ الْمُتَكَوِّنَ

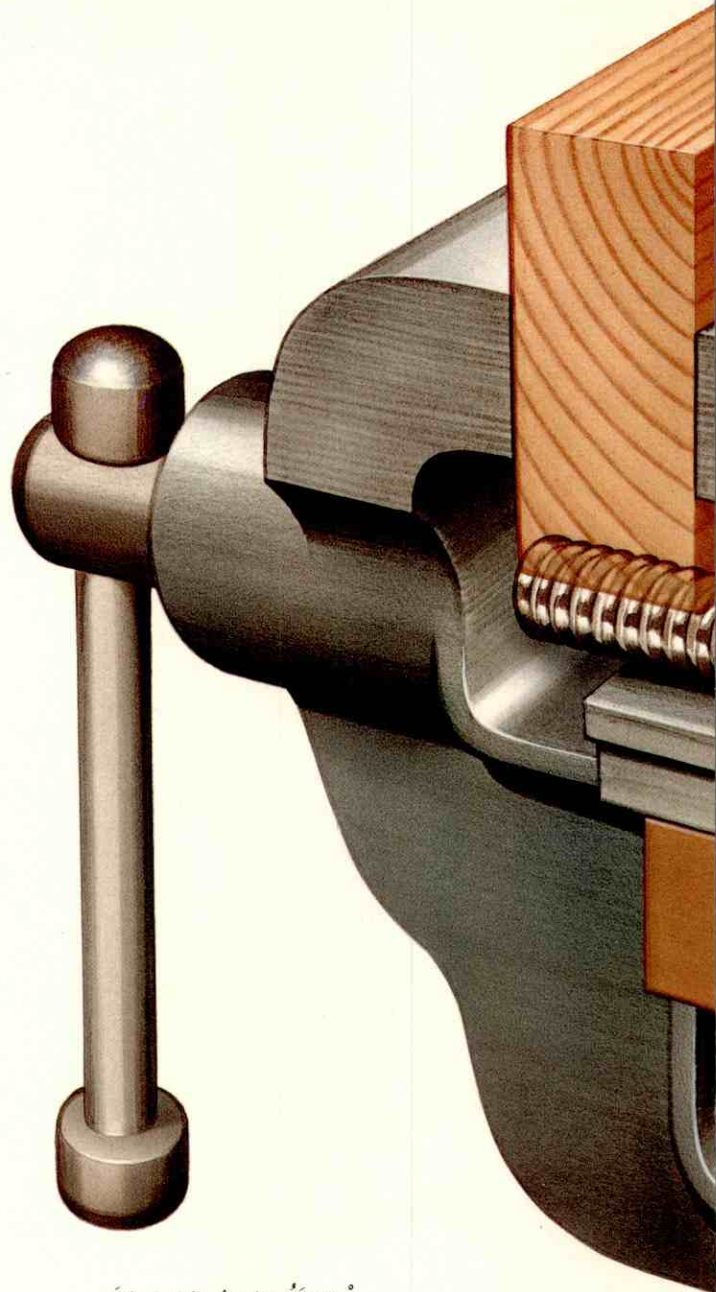
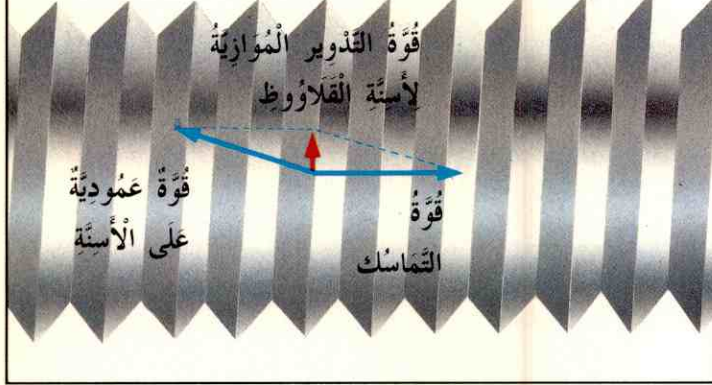
يُمَاتِلُ أَسِنَّةَ الْقَلَاوُوظِ .



القوة والشغل . يُسَهِّلُ الْمُسْتَوًى الْمَائِلُ أَدَاءَ الْعَمَلِ ، وَلَكِنَّهُ لَا يُقَلِّلُ كَمِّيَّةَ الشَّغْلِ الْمَطْلُوبَةِ لِأَدَائِهِ . فَرَفْعُ كُتْلَةٍ ١٠٠ باوند (و) قَدَمًا رَاسِيًّا يَتَطَلَّبُ قُوَّةً تُؤَدِّي شَغْلًا ٣٠ × ١٠٠ باوند . قَدَمَ (القوة × المسافة) . وَبِوَضْعِ الْكُتْلَةِ عَلَى مُسْتَوًى مَائِلٍ ٥٤,٥ ° ثِقَلُ الْقُوَّةِ اللَّازِمَةِ (ق) لِرَفْعِهَا إِلَى ٧٠٪ مِنْ وَزْنِهَا إِلَّا أَنَّهُ يَلْزَمُ سَحْبُهَا عَلَى الْمُسْتَوًى ٤٣ قَدَمًا لِتَرْتَفَعَ ٣٠ قَدَمًا . وَالْفَائِدَةُ الْمِيكَانِيكِيَّةُ هِيَ ٤٣/٣٠ (أو المقاومة على القوة) .

القوى المؤثرة على قلاووظ

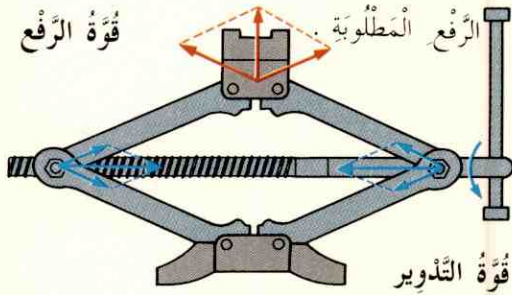
عندما يدور القلاووظ ، فإن أسننه تولد قوة كبيرة على المادة التي يخترقها . وتعمل هذه القوة على تحريك القلاووظ إلى الأمام إذا كان يدور في اتجاه حركة عقرب الساعة ، وإلى الخلف إذا كان يدور مضافاً لحركة عقرب الساعة .



المنجلة تجمع بين وظيفتي الرافعة والقلاووظ .

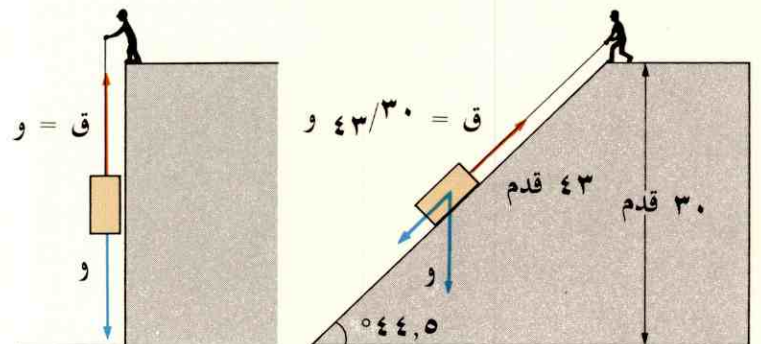
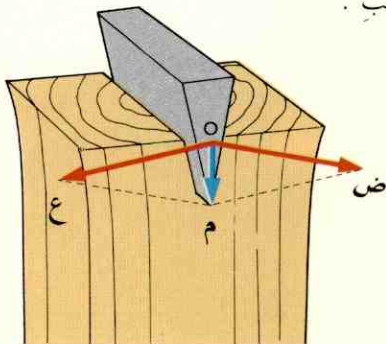
رافعة لولبية (أو مرفاع لولبي)

تستغل الرافعة اللولبية القوى الكبيرة التي تولدها اللولب الدائرة لرفع أجسام ثقيلة مثل السيارات والشاحنات . فبإدارة القلاووظ المركزي بمساعدة رافعة ، فإن نهايتي المرفاع يتحركان معاً لتوليد قوة الرفع المطلوبة .



مستويات مائلة للقطع

الوتد عبارة عن مستويين مائلين ملتصقين ظهراً لإظهار . وعند دفعه في قطعة خشب ، فإن المستويين يولدان قوى جانبية كافية لفصل أقوى أنواع الخشب .



لماذا توجد تروس في الدراجات ؟

عندما حوّل القدماء الرافعة إلى دائرة حول محور ارتكاز، اكتشفوا آلة بسيطة جديدة : هي العجلة والمحور . وتستخدم الدراجة هذه النظرية في الترس الأمامي المُسنّن ودواسة القدمين . فالقوة المؤثرة على الدواستين الدائريتين تُدير الترس الأمامي المُسنّن المُتصل بجنزير يُدير عجلة ومحور آخرين ، هي مجموعة التروس الخلفية الحرة ، والمُتصلة بالعجلة الخلفية للدراجة . وقوة دفع أقدام الراكب للدواسة تدفع الدراجة إلى الأمام بسرعة أكبر من شخص يسير على قدميه يستخدم نفس المجهود .

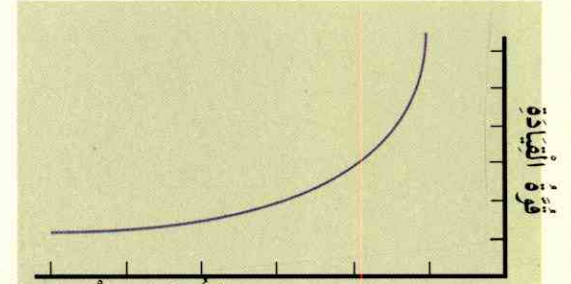
ويمكن لقائد الدراجة أن يستخدم الدواسة بسهولة أكبر ، أو أن يزيد الفائدة الميكانيكية للعجلة والمحور ، وذلك باستخدام مجموعة مختلفة الأحجام من التروس المُسنّنة ، التي تعمل على تكبير أو تصغير القوى المؤثرة عليها . وقائدو الدراجات يضبطون نسبة تعشيق المُسنّات — وهي النسبة بين حجم الترس الأمامي إلى الترس الخلفي الحر — لتناسب نوعية المسار . فإذا كان الترس الخلفي الحر أصغر كثيراً من الترس الأمامي ، فإن القوة المؤثرة على الدواسة تتضاعف بقدر النسبة ، وبذلك تدور العجلة الخلفية بسرعة أقل ولكن بقوة كبيرة . كما أن ترساً خلفياً خفياً يقلل هذه القوة ، فيجعل التبديل على الدواسة أسهل عند صعود منحدر .



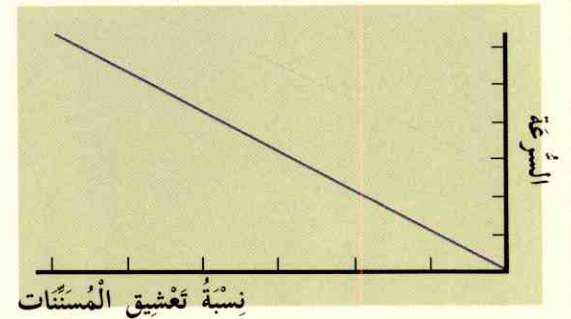
ترس خلفي حر

نسبة تعشيق المُسنّات

بتعديل نسبة تعشيق المُسنّات ، يتكيف قائد الدراجة مع ظروف القيادة المختلفة . فالنسبة الصغيرة تُنتج قوة صغيرة ، ولكنها تُسهّل التبديل لصعود المنحدرات . بينما النسبة الكبيرة تُعطي قوة كبيرة تُستخدم على السطوح المستوية أو المنحدرة لأسفل .



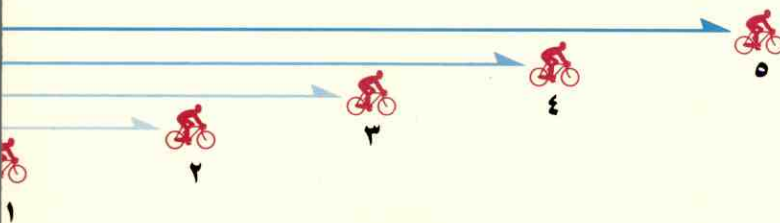
نسبة تعشيق المُسنّات وقوة القيادة



نسبة تعشيق المُسنّات والسرعة

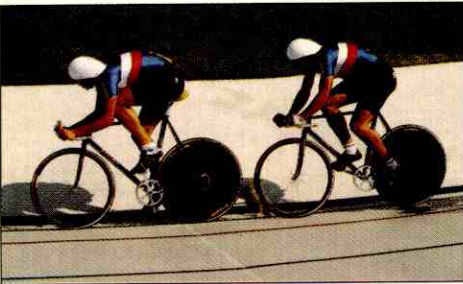
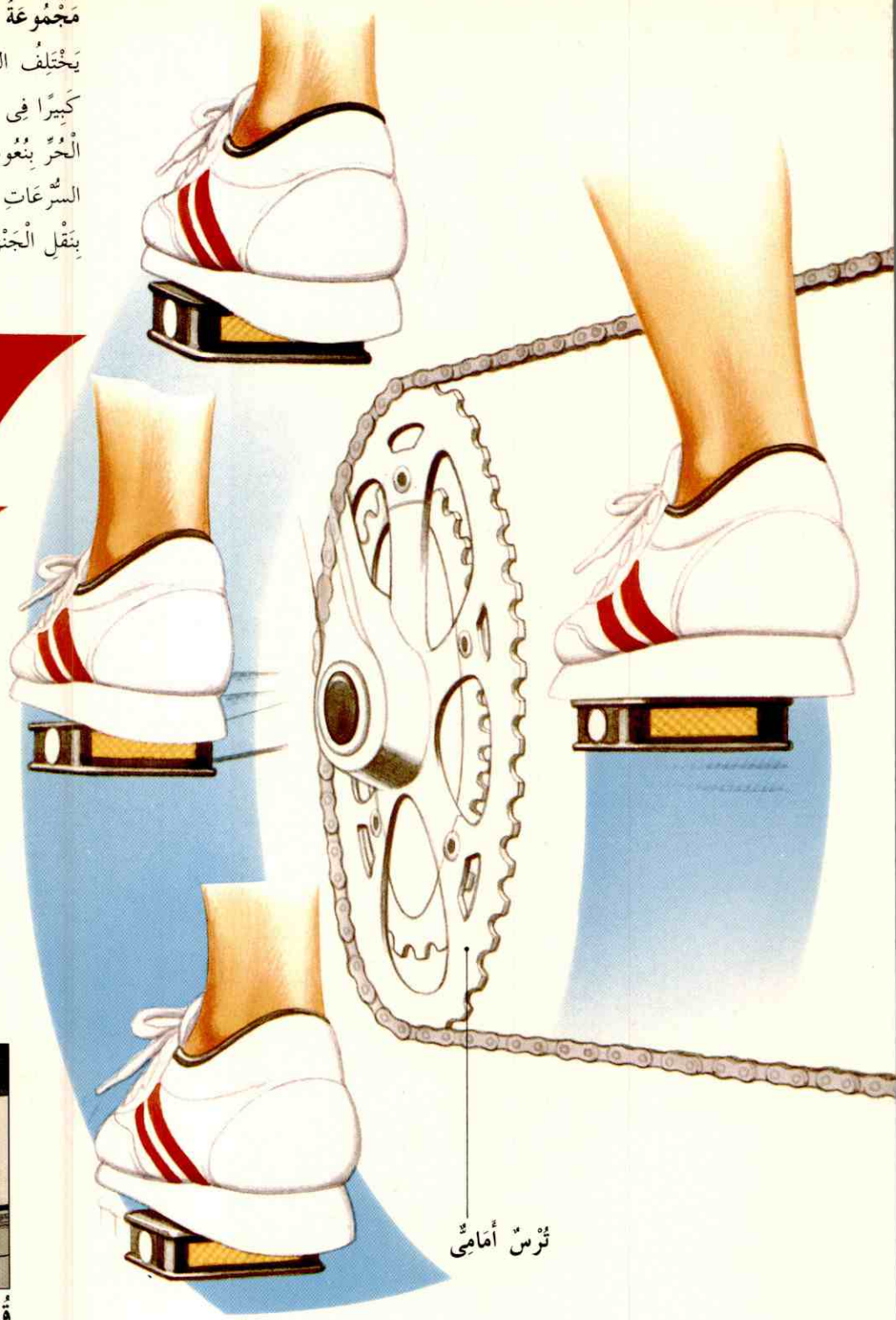
مُسنّات التروس الخلفية الحرة

كلما صغر الترس الخلفي الحر ، كلما زاد عدد الدورات في الدققة التي تعملها العجلة الخلفية للدراجة عندما تدور الدواسة دورة واحدة . وهذا الرسم يوضح المسافة التي تقطعها دراجة بعد دورة واحدة للدواسة عند استخدام خمسة تروس خلفية حرة مختلفة .

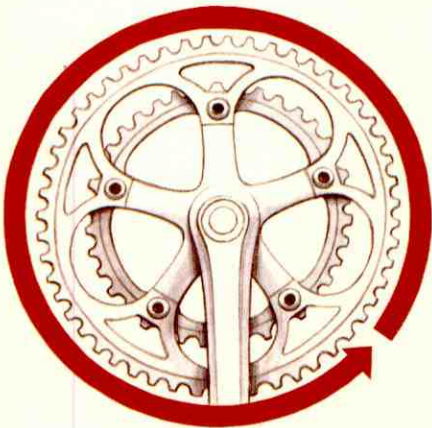


مَجْمُوعَةُ ثُرُوسٍ

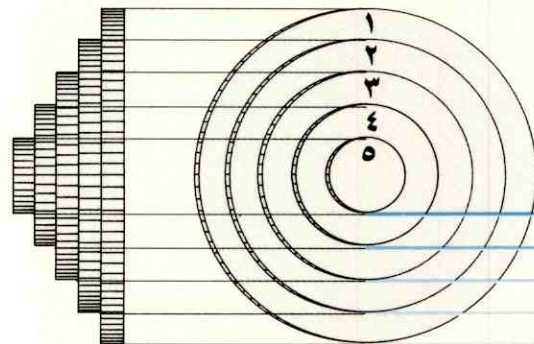
يَحْتَلِفُ الثُّرْسُ الْأَمَامِيُّ وَالثُّرْسُ الْخَلْفِيُّ الْحُرَّةُ اخْتِلَافًا كَبِيرًا فِي الْحَجْمِ وَعَدَدِ الْأَسْنَةِ. وَلِتَغْيِيرِ الثُّرْسِ الْخَلْفِيِّ الْحُرَّةِ بِنُعُومَةٍ اثنَاءَ حَرَكَةِ الدَّرَاجَةِ ، فَإِنَّ الدَّرَاجَاتِ مُتَعَدِّدَةَ السَّرْعَاتِ تَسْتَخْدِمُ جِهَازًا يُسَمَّى مُبَدِّلَ الْجَنْزِيرِ ، يَقُومُ بِنَقْلِ الْجَنْزِيرِ مِنْ ثُرْسٍ خَلْفِيٍّ حُرٍّ إِلَى الثُّرْسِ التَّالِي لهُ .



قُدْرَةُ الدَّوَّاسَاتِ تَزِيدُ سُرْعَةَ الدَّرَاجَاتِ

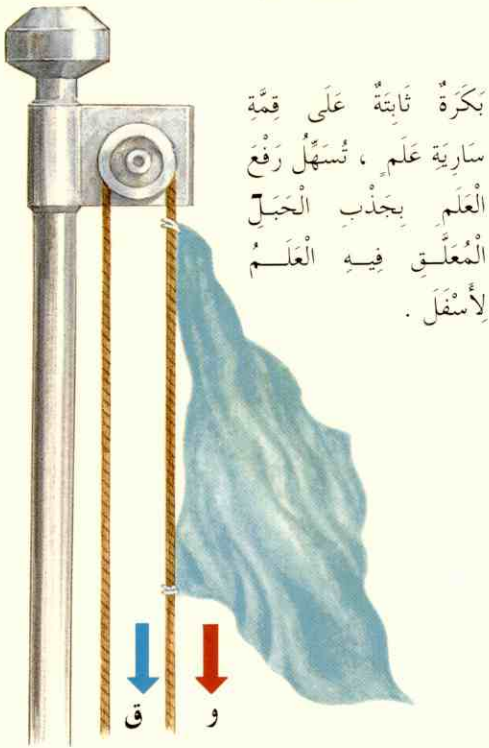


ثُرْسُ أَمَامِي



ثُرْسُ خَلْفِي حُر

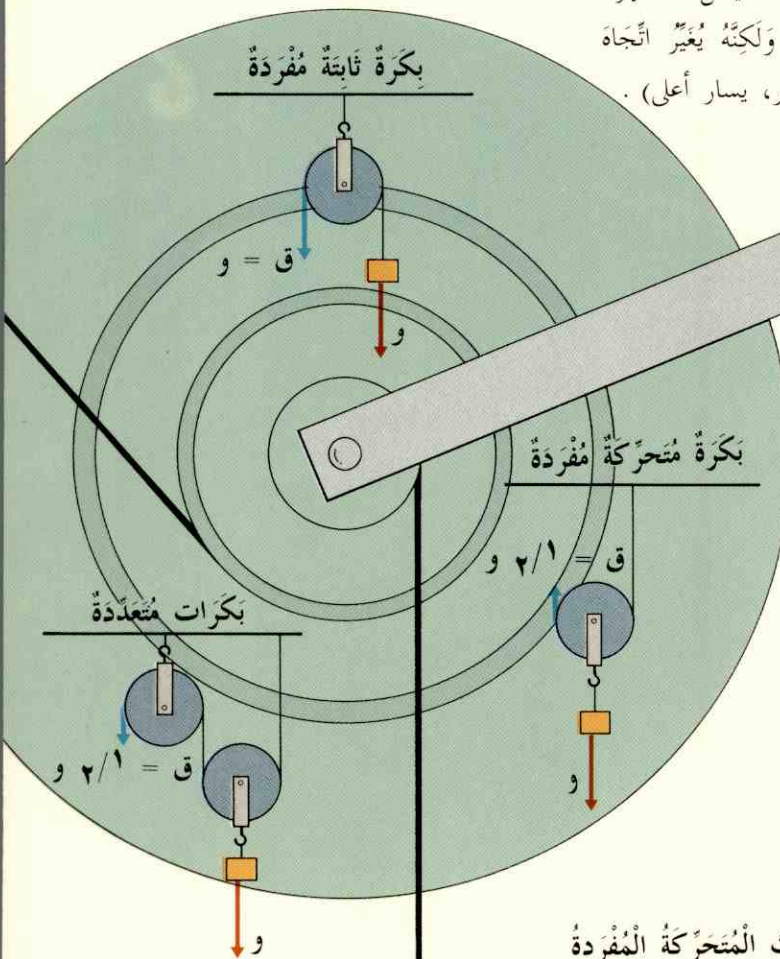
كَيْفَ تَعْمَلُ الْبَكَرَاتُ ؟



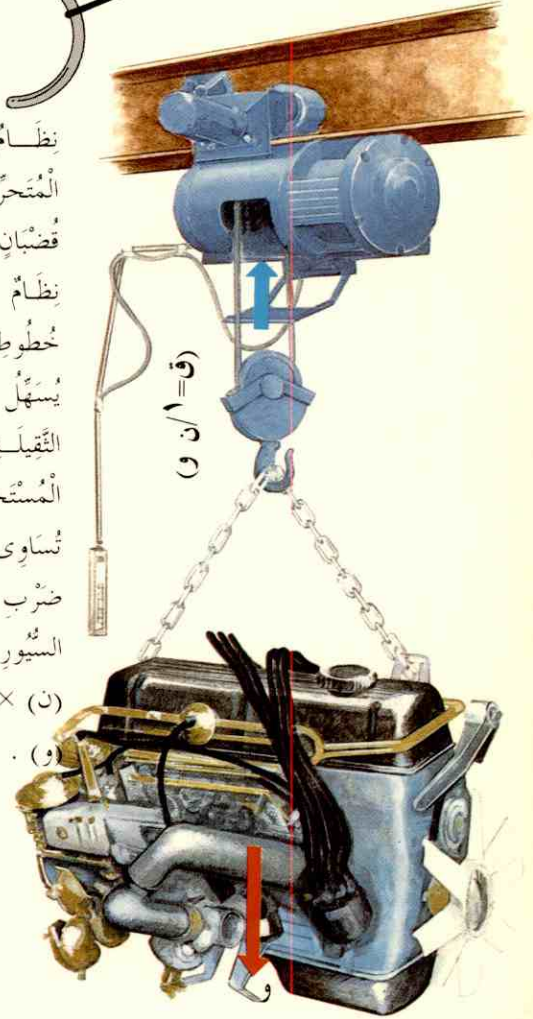
تَتَكُونُ الْبَكْرَةُ مِنْ سِلْسِلَةٍ أَوْ سَيْرٍ يَمُرُّ حَوْلَ عَجَلَةٍ أَوْ مَجْمُوعَةٍ عَجَلَاتٍ . وَهِيَ مِثْلُ الرَّافِعَةِ ، تُقَلِّلُ الْمَجْهُودَ اللَّازِمَ لِرَفْعِ جِسْمٍ ، وَلَكِنَّ الْبَكْرَةَ يُمْكِنُهَا أَيْضًا تَغْيِيرُ اتِّجَاهِ الْقُوَّةِ الْمُؤَثِّرَةِ ، وَهَذِهِ مِيزَةٌ كَبِيرَةٌ . وَكُلَّمَا قَلَّتِ الْقُوَّةُ اللَّازِمَةُ لِرَفْعِ جِسْمٍ ، وَجِبَ زِيَادَةُ الْمَسَافَةِ الَّتِي تَتَحَرَّكُهَا هَذِهِ الْقُوَّةُ . وَاسْتِخْدَامُ مَجْمُوعَةٍ مِنَ الْبَكَرَاتِ يُضَاعِفُ الْفَائِدَةَ بِقَدَرِ عَدَدِ سُيُورِ التَّحْمِيلِ الْمُسْتَحْدَمَةِ . وَهَذِهِ الْأَجْهَزَةُ الَّتِي تُوفِّرُ الْمَجْهُودَ تَحْدُمُ أَغْرَاصًا كَثِيرَةً ، مِنْ رَفْعِ قُضْبَانِ الصُّلْبِ الثَّقِيلَةِ فِي مَوَاقِعِ الْبِنَاءِ إِلَى رَفْعِ الْأَعْلَامِ . وَمِثْلُ بَاقِي الْأَلَاتِ الْبَسِيطَةِ ، فَإِنْ مَنَشَأَ الْبَكَرَاتِ غَيْرَ مَعْرُوفٍ . وَرُبَّمَا تَكُونُ قَدْ وُجِدَتْ فِي الْعُصُورِ الْبَدَائِيَّةِ الْأُولَى ، وَلَكِنَّهَا لَمْ تُسَجَّلْ إِلَّا فِي الْقَرْنِ الْخَامِسِ قَبْلَ الْمِيلَادِ حِينَ اسْتُخْدِمَتْهَا قَدَمَاءُ الْإِغْرِيْقِ فِي السُّفُنِ وَالْمَسَارِحِ .

أَبْسَطُ أَنْوَاعِ الْبَكَرَاتِ لَا يُقَلِّلُ الْمَجْهُودَ اللَّازِمَ لِرَفْعِ جِسْمٍ ، وَلَكِنَّهُ يَغْيِّرُ اتِّجَاهَ الْقُوَّةِ الْمُسْتَحْدَمَةِ (يَسَارَ، يَسَارَ أَعْلَى) .

الْبَكَرَاتُ الثَّابِتَةُ الْمُفْرَدَةُ

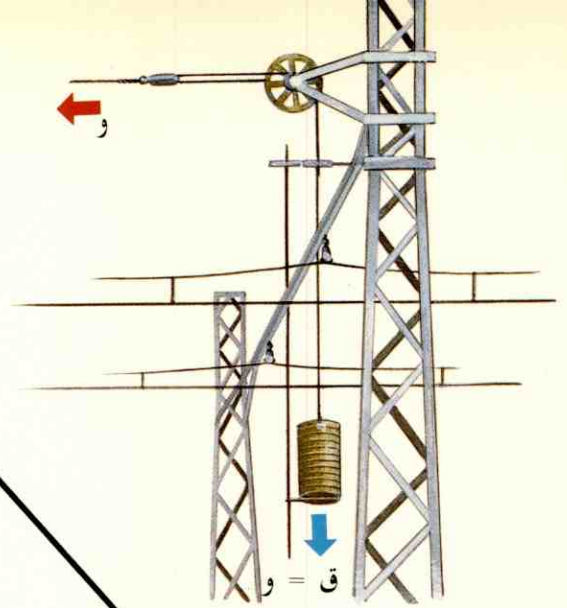


نِظَامُ الْبَكَرَاتِ الْمُتَحَرِّكَةِ عَلَى قُضْبَانٍ (يَمِينٍ) هُوَ نِظَامٌ شَائِعٌ فِي خُطُوطِ التَّجْمِيعِ لِأَنَّهُ يُسَهِّلُ نَقْلَ الْأَجْزَاءِ الثَّقِيلَةِ . وَالْقُوَّةُ الْمُسْتَحْدَمَةُ (ق) تُسَاوِي حَاصِلَ ضَرْبِ مَقْلُوبِ عَدَدِ السُّيُورِ الْمُسْتَحْدَمَةِ (ن) $\times$ وَزْنَ الْجِسْمِ (و) .



الْبَكَرَاتُ الْمُتَحَرِّكَةُ الْمُفْرَدَةُ

إِذَا تَحَرَّكَتْ بَكْرَةٌ مُفْرَدَةٌ (أَعْلَى) فَإِنَّهَا تُوفِّرُ نِصْفَ الْمَجْهُودِ اللَّازِمِ لِرَفْعِ جِسْمٍ . وَلَكِنَّ اسْتِخْدَامَ نِصْفِ الْقُوَّةِ مَعْنَاهُ إِمَّا تَحْرِيكُ الْجِسْمِ ضِعْفَ الْمَسَافَةِ ، أَوْ أَنَّ الْقُوَّةَ تُسَاوِي نِصْفَ الْوِزْنِ (ق = $\frac{1}{2} و$)



ثَقْلٌ يَتَدَلَّى رَأْسِيًّا مِنْ بَكْرَةٍ ،
يَحْفَظُ الْأَسْلَافَ الْكَهْرَبِيَّةَ
الْأَفْقِيَّةَ مَشْدُودَةً .



مِرْفَعٌ حُرٌّ (يسار) يَتَكَوَّنُ مِنْ
سِلْسِلَةٍ حَوْلَ بَكْرَةٍ مُتَحَرِّكَةٍ
وَبَكْرَتَيْنِ ثَابِتَتَيْنِ . وَرَفْعُ أَى
جَمَلٍ يَحْتَاجُ قُوَّةً تُعَادِلُ
نِصْفَ وَزْنِ هَذَا الْجَمَلِ .

$$ق = \frac{و}{٢}$$

البكرات المتعددة

بِاسْتِخْدَامِ مَجْمُوعَةٍ مِنْ
الْبَكَرَاتِ الثَّابِتَةِ وَالْمُتَحَرِّكَةِ
(أعلى) ، فَإِنَّ تَأْثِيرَ الْقُوَّةِ
الْمُسْتَحْدَمَةِ يَتَضَاعَفُ بِقَدْرِ
عَدَدِ سُرُورِ التَّحْمِيلِ
الْمُسْتَحْدَمَةِ (وهي هنا
 $٢ =$ ، فَتَكُونُ الْقُوَّةُ نِصْفَ
الْوِزْنِ .

تُسْتَحْدَمُ كَثِيرًا مَعَ الْمِرْفَاعَاتِ الضَّخْمَةِ كُنُتْلَةُ
وَبَكَارَةٌ تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجْمُوعَةٍ بَكَرَاتٍ مُتَحَرِّكَةٍ
مُتَّصِلَةٍ بِالْجَمَلِ ، وَمَجْمُوعَةٍ بَكَرَاتٍ ثَابِتَةٍ مُتَّصِلَةٍ
بِذِرَاعِ الْمِرْفَاعِ . وَيَحْقُقُ الْمِرْفَاعُ فَائِدَةً
مِيكَانِيكِيَّةً كَبِيرَةً بِسَبَبِ هَذَا الْعَدَدِ الْكَبِيرِ مِنْ
الْبَكَرَاتِ ، فَيَتِمَكَّنُ مِنْ رَفْعِ الْأَجْسَامِ الْبَالِغَةِ
الثَّقَلِ مِثْلَ قُضْبَانِ الصُّلْبِ . وَالْقُوَّةُ الْمُسْتَحْدَمَةُ (ق)
تُعَادِلُ مَقْلُوبَ عَدَدِ الْكِبَلَاتِ الْمُسْتَحْدَمَةِ (ن)
مَضْرُوبًا فِي الْوِزْنِ (و) .

كَيْفَ تَقْيَسُ الزُّنْبُرَكَاتِ مَقَادِيرَ الْقُوَى ؟

الزُّنْبُرَكَاتُ هِيَ مِيكَانِيكِيَّةٌ تَنْبَسِطُ وَتَنْضَغُطُ وَفَقَ قَانُونِ بَسِيطٍ وَضَعَهُ لِأَوَّلَ مَرَّةٍ الْفِيْزِيَّائِيُّ الْإِنْجِلِيزِيُّ رُوبَرْتُ هُوكَ عَامَ ١٦٧٨ ، وَسُمِّيَ قَانُونُ هُوكَ . وَيَنْصُ عَلَى أَنَّ التَّشَوُّهُ فِي الزُّنْبُرَكَاتِ يَتَنَاسَبُ مَعَ الْقُوَّةِ الْمُؤَثِّرَةِ عَلَيْهَا . أَيْ أَنَّهُ كُلَّمَا زَادَتْ قُوَّةُ الْجَذْبِ أَوْ الدَّفْعِ عَلَى زُنْبُرِكٍ ، كُلَّمَا زَادَ انْبِسَاطُهُ أَوْ انْضِعَاطُهُ . وَلَكِنْ عِنْدَ نَقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ تُسَمَّى حَدُّ الْمُرُونَةِ ، فَإِنَّ الرُّوَاطِطَ الَّتِي تُرْبِطُ ذَرَاتِ الزُّنْبُرِكِ سَتَتَبَدَّلُ وَيَحْدُثُ تَشَوُّهُ دَائِمٌ فِي الزُّنْبُرِكِ ، وَلَا يَعُودُ أَبَدًا لِشَكْلِهِ الْأَصْلِيِّ .

وَمُرُونَةُ الزُّنْبُرِكِ تَجْعَلُهُ مُفِيدًا فِي الْمَقَايِيسِ وَالْمَوَازِينِ . وَمُقَارَنَةً بَيْنَ انْبِسَاطِ زُنْبُرِكٍ بِوَزْنٍ مَعْلُومٍ وَبِوَزْنٍ مَجْهُولٍ ، ثُمَّ كُنَّا مِنْ حِسَابِ الْوِزْنِ الْمَجْهُولِ بِسُهُولَةٍ .

مِيزَانُ زُنْبُرِكِي

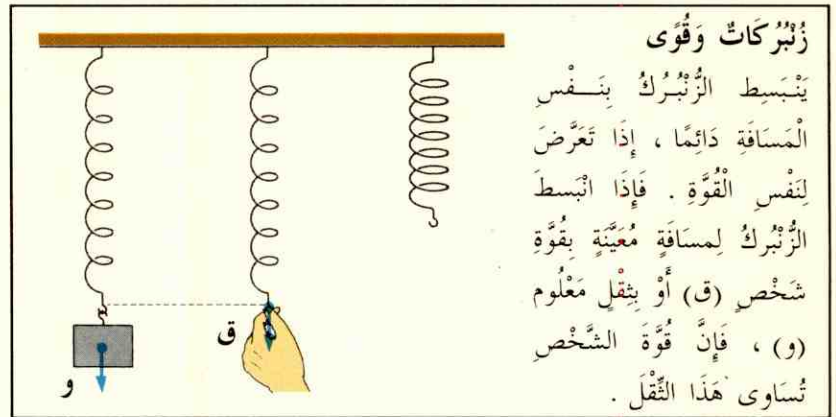
مِسْمَارُ صَبِيطٍ

مُؤَشِّرٌ

زُنْبُرِكٌ

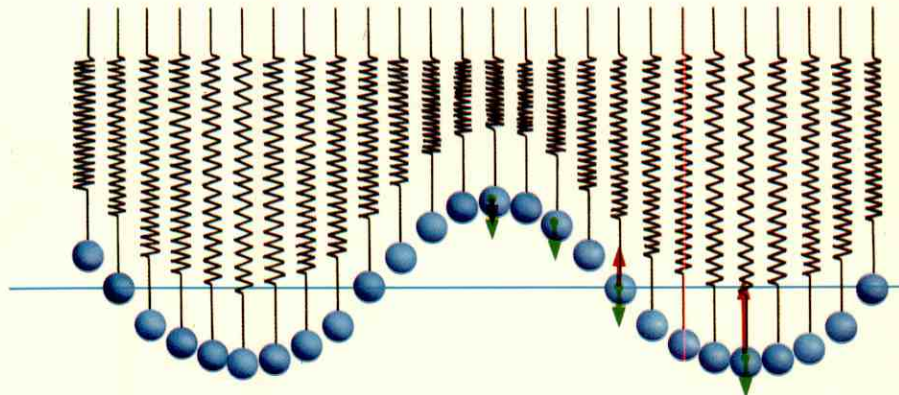
أُسْطُوَانَةٌ دَاخِلِيَّةٌ

أُسْطُوَانَةٌ خَارِجِيَّةٌ



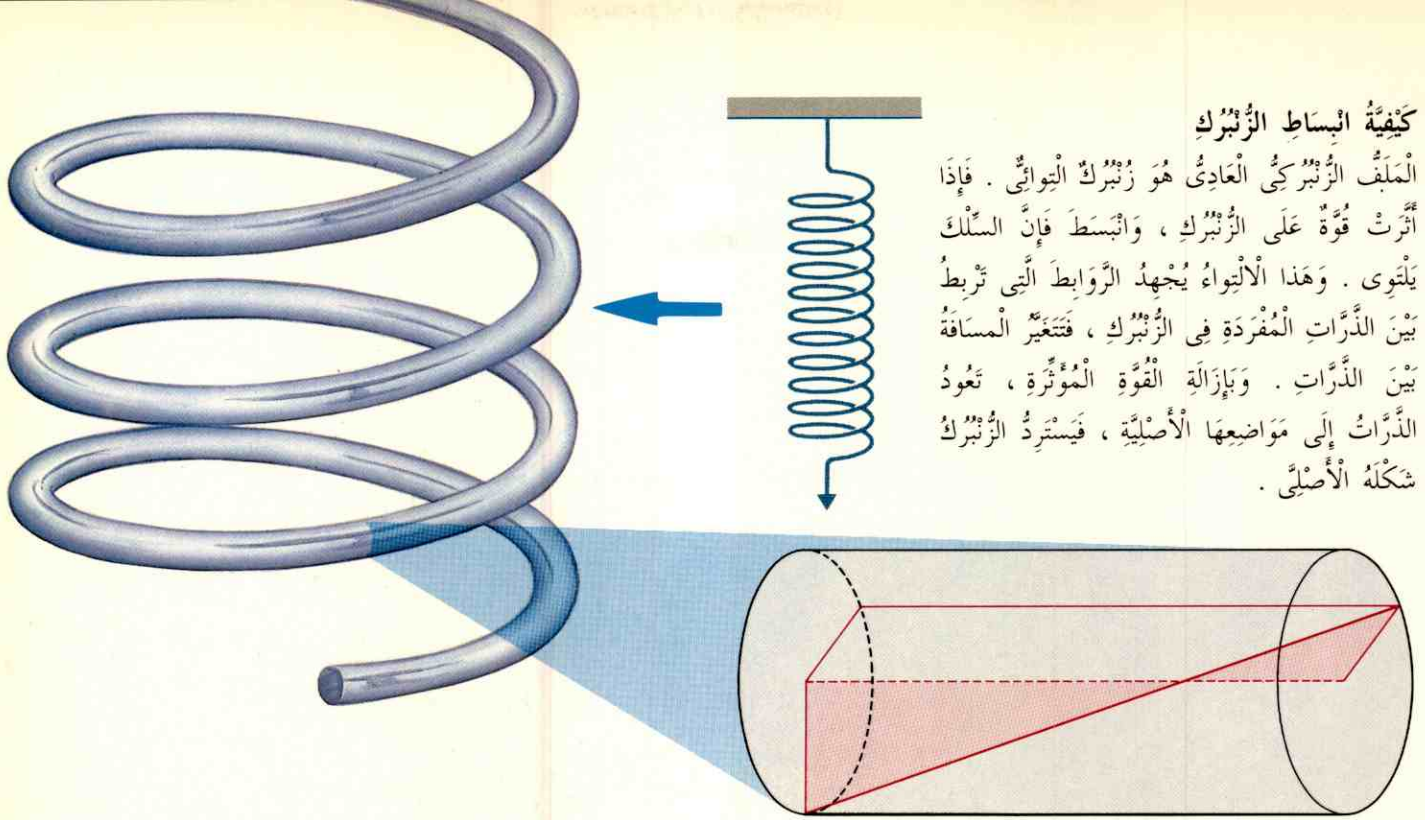
ازْتِدَادُ زُنْبُرِكٍ

جَذَبٌ ثَقِيلٌ فِي زُنْبُرِكٍ ثُمَّ تَرَكُهُ ، سَيَوَلِّدُ الْمُتَنَجِّى الْمَوْضَحَ أَسْفَلَ ، الْأَسْهُمَ الْحَمْرَاءَ تُبَيِّنُ قُوَّةَ الزُّنْبُرِكِ ، وَالْخَضِرَاءُ تُبَيِّنُ الثَّقَلَ . وَلَوْلَا وُجُودُ الْأَحْتِكَائِ ، الَّتِي يُبْطِئُ هَذِهِ الْحَرَكَاتِ ، لَطَلَّ الزُّنْبُرِكُ يَنْبَسِطُ وَيَنْضَغُطُ إِلَى الْأَبَدِ .



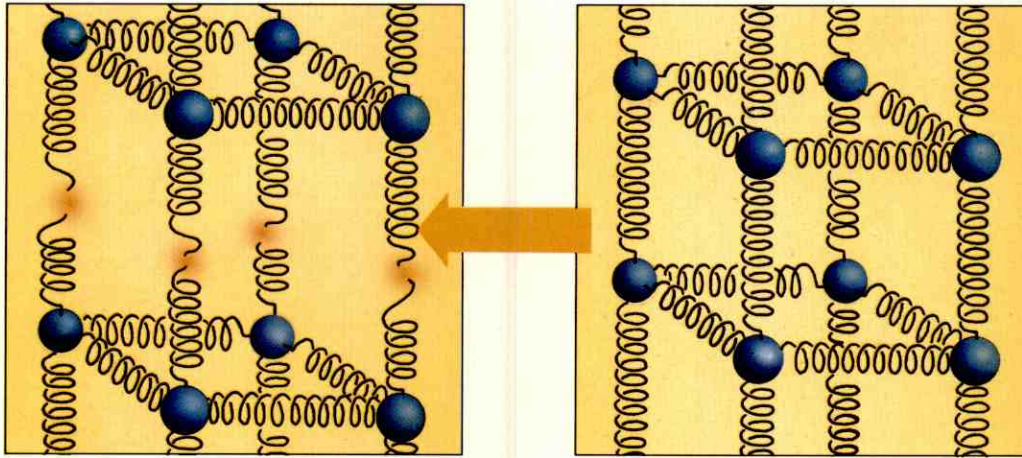
كَيْفِيَّةُ انْبِسَاطِ الزُّنْبُرِكِ

الْمَلْفُ الزُّنْبُرِكِيُّ الْعَادِيُّ هُوَ زُنْبُرِكٌ التَّوَالِي . فَإِذَا أَثَرَتْ قُوَّةٌ عَلَى الزُّنْبُرِكِ ، وَانْبَسَطَ فَإِنَّ السِّلَكَ يَلْتَوِي . وَهَذَا الْاَلْتِواءُ يُجْهَدُ الرُّوَابِطُ الَّتِي تُرْبِطُ بَيْنَ الذَّرَاتِ الْمُفْرَدَةِ فِي الزُّنْبُرِكِ ، فَتَتَغَيَّرُ الْمَسَافَةُ بَيْنَ الذَّرَاتِ . وَبِإِزَالَةِ الْقُوَّةِ الْمُؤَثِّرَةِ ، تَعُودُ الذَّرَاتُ إِلَى مَوَاضِعِهَا الْأَصْلِيَّةِ ، فَيَسْتَرِدُّ الزُّنْبُرِكُ شَكْلَهُ الْأَصْلِيَّ .



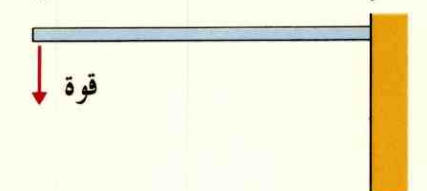
الْمُرُونَةُ

تَعْمَلُ ذَرَاتُ الزُّنْبُرِكِ الْمَعْدِنِيِّ كَأَنَّهَا مُرْتَبِطَةٌ بِزُنْبُرِكَاتٍ ، فَإِذَا ضُعِطَتْ ، فَإِنَّ الذَّرَاتِ تَمِيلُ لِلْعُودَةِ إِلَى مَوَاضِعِهَا الْأَصْلِيَّةِ . وَإِذَا جُذِبَتْ لِيَتَبَعَدَ عَنْ بَعْضِهَا ، فَإِنَّهَا تَمِيلُ لِلتَّقَارُبِ لِيَعُودَ لِلْمَعْدِنِ شَكْلَهُ الْأَصْلِيَّ . وَإِذَا انْبَسَطَتِ الذَّرَاتُ خَارِجَ حَدِّ مُرُونَتِهَا ، فَإِنَّ الرُّوَابِطَ بَيْنَهَا تَنْقَطِعُ ، وَيَلْتَوِي الْمَعْدِنُ بِصِفَةِ دَائِمَةٍ وَيَأْخُذُ شَكْلًا جَدِيدًا .

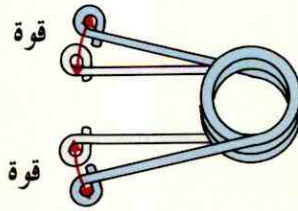


الْاَلْتِواءُ وَالْقُضْبَانُ الزُّنْبُرِكِيَّةُ

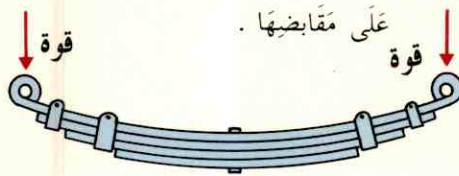
الْقُضْبَانُ الْاَلْتِواءِيَّةُ هِيَ قُضْبَانٌ قَابِلَةٌ لِلْاَلْتِواءِ ، وَتَسْتَعِيدُ شَكْلَهَا الْأَصْلِيَّ بِإِزَالَةِ الْقُوَّةِ .



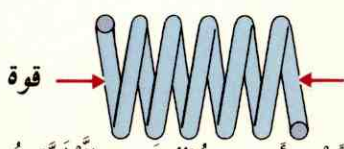
الزُّنْبُرِكُ الْمُسْتَوِي هُوَ قُضْبَانٌ يَعُودُ إِلَى شَكْلِهِ الْمُسْتَقِيمِ بَعْدَ ثَنِيهِ .



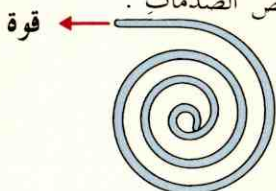
الزُّنْبُرِكُ الْحَزُونِي يَعْْمَلُ فِي الْمَقْصَّاتِ عَلَى إِبْعَادِ الشَّفَرَاتِ عِنْدَ إِزَالَةِ الضَّغْطِ عَلَى مَقَابِضِهَا .



الزُّنْبُرِكُ الْوَرَقِيُّ يَتَكَوَّنُ مِنْ عِدَّةِ قُضْبَانٍ مَعْدِنِيَّةٍ مُقَوَّسَةٍ ، وَيُشَبِّهُ الزُّنْبُرِكُ الْمُسْتَوِي وَلَكِنَّهُ أَمْتَنُ كَثِيرًا .



أَكْثَرُ أَنْوَاعِ الزُّنْبُرِكَاتِ اللَّوَلِيَّةِ تُوجَدُ فِي أَجْسَامٍ مِثْلَ قَلَمِ الْحَبْرِ الْجَافِّ ، وَمُمْتَصِّ الصَّدَمَاتِ .



الْمَلْفَاتُ الزُّنْبُرِكِيَّةُ ، تُسْتَخْدَمُ كَثِيرًا فِي سَاعَاتِ الْيَدِ ، وَيُمْكِنُ لَهَا بِإِحْكَامٍ ، وَثْنَتُهَا فِي مِسَاحَاتٍ صَغِيرَةٍ .

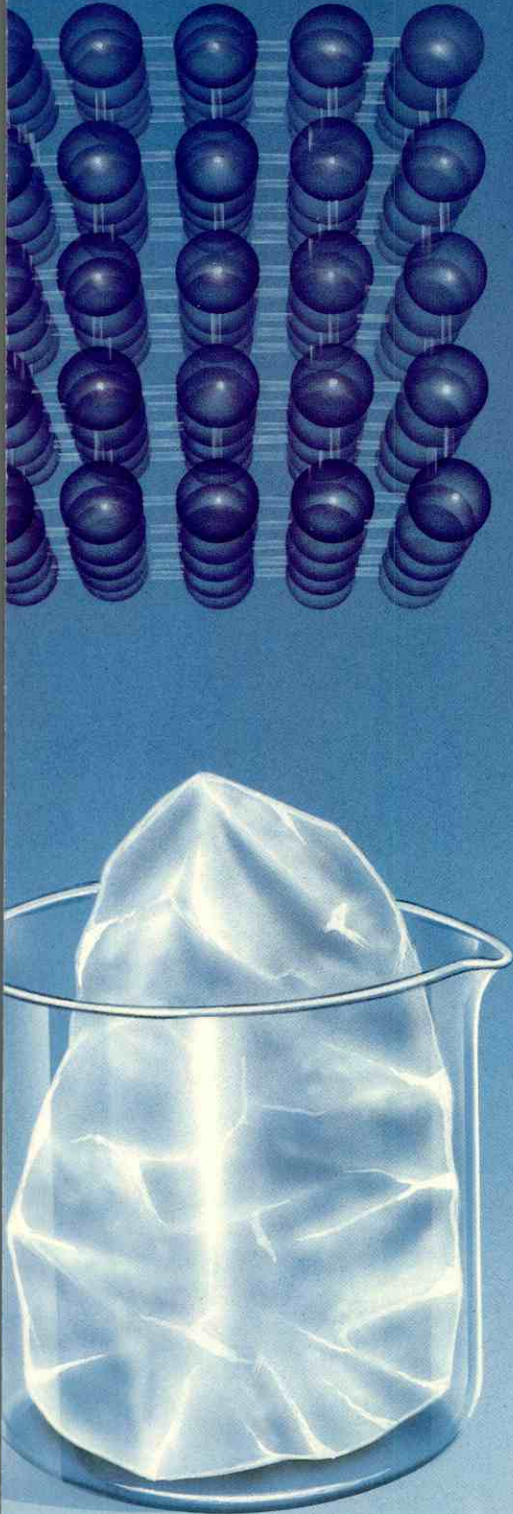
4 دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ وَالْحَرَارَةُ وَالْجُزَيَّاتُ

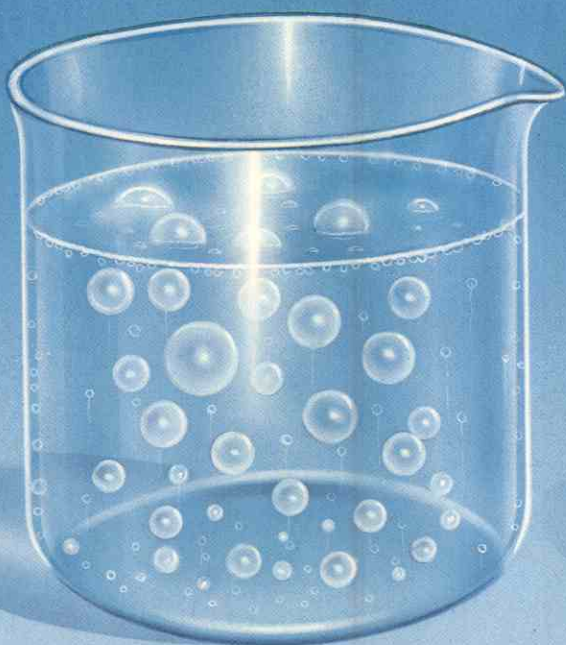
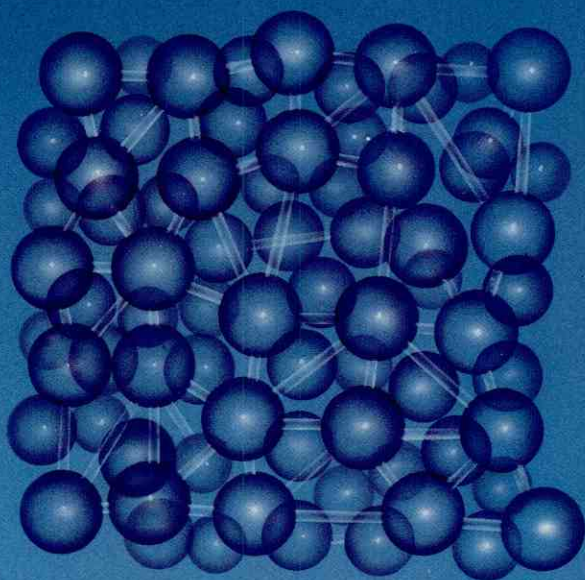
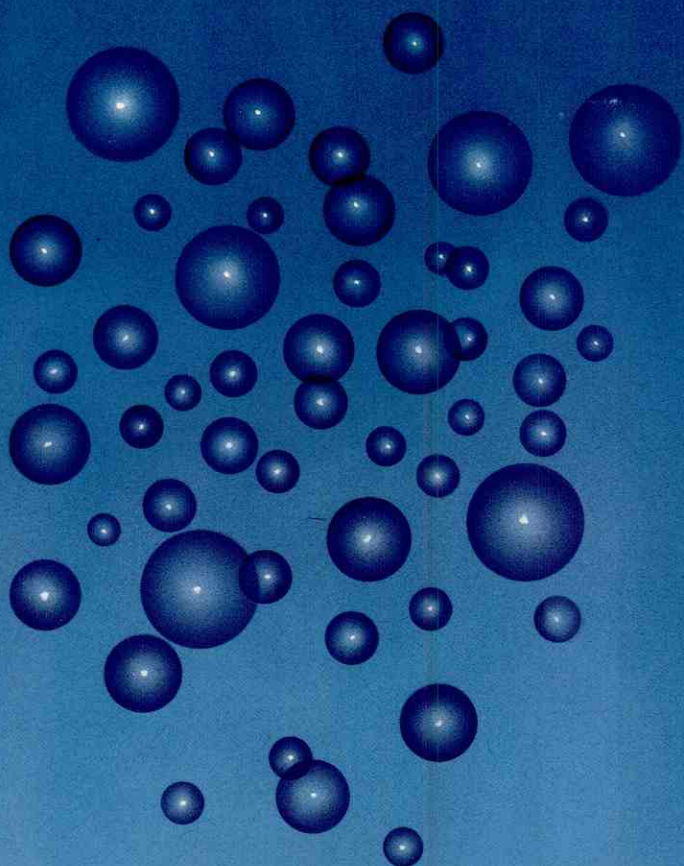
مِنَ الْمُتَّفَقِ عَلَيْهِ فِي حَيَاتِنَا الْيَوْمِيَّةِ ، أَنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ الَّتِي نَقِيسُهَا بِوَاسِطَةِ تَرْمُومَتَرٍ ، تَدُلُّ عَلَى الدَّفْعِ النَّسْبِيِّ أَوْ الْبُرُودَةِ النَّسْبِيَّةِ لِلْأَشْيَاءِ . وَعِلْمِيًّا ، فَإِنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ هِيَ مَقْيَاسٌ لِلطَّاقَةِ الْحَرَكِيَّةِ الْمُتَوَسَّطَةِ لِجُزَيَّاتِ الْمَادَّةِ . وَهَذِهِ الطَّاقَةُ الْحَرَكِيَّةُ تَعَكِّسُ مَدَى سُرْعَةِ حَرَكَةِ الْجُزَيَّاتِ . عِنْدَ 50°C (122°F) يَكُونُ لِجُزَيَّاتِ الْمَاءِ طَاقَةُ حَرَكِيَّةٍ أَكْبَرُ وَسُرْعَةُ أَكْبَرُ مِنْ جُزَيَّاتِ الْمَاءِ عِنْدَ 5°C (41°F) .

وَرَغْمَ أَنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ وَالطَّاقَةَ الْحَرَارِيَّةَ قَدْ يَعتَبَرُهُمَا الْبَعْضُ شَيْئًا وَاحِدًا ، إِلَّا أَنَّهُمَا مُخْتَلِفَانِ تَمَامًا . فَدَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الْمُقَاسَةُ بِالتَّرْمُومَتَرِ تُمَثِّلُ كَمِيَّةَ طَاقَةِ الْمَادَّةِ النَّاتِجَةِ عَنْ حَرَكَةِ جُزَيَّاتِهَا . أَمَّا الطَّاقَةُ الْحَرَارِيَّةُ فَهِيَ مَقْيَاسٌ لِلْمَجْمُوعِ الْكُلِّيِّ لَطَاقَاتِ جَمِيعِ جُزَيَّاتِ الْمَادَّةِ . فَمَثَلًا ، كُتْلَةٌ مِنَ الْجَلِيدِ قَدْرُهَا ٢ رِطْلٍ تَحْتَوِي طَاقَةَ حَرَارِيَّةٍ ضَعْفَ كُتْلَةٍ أُخْرَى مِنَ الْجَلِيدِ قَدْرُهَا رِطْلٍ وَاحِدٌ ، رَغْمَ أَنَّ دَرَجَتَيْ حَرَارَتِهِمَا وَاحِدَةٌ .

وَفِي هَذَا الْفَصْلِ سَتَشْرَحُ كَيْفَ تَتَنَقَّلُ الْحَرَارَةُ مِنَ الْمَوَادِّ السَّاخِنَةِ إِلَى الْأَبْرَدِ ، أَوْ خِلَالِ الْمَوَاقِعِ مِثْلَ الْمَاءِ وَالْهَوَاءِ . وَلَكِنَّ الْحَرَارَةَ تَعْمَلُ أَكْثَرَ مِنْ مُجَرِّدِ الْإِنْتِقَالِ . وَعِنْدَ 32°C (89°F) تُحَوِّلُ الْحَرَارَةُ الْجَلِيدَ الْجَامِدَ إِلَى مَاءٍ سَائِلٍ . وَعِنْدَ 100°C (212°F) — وَهِيَ دَرَجَةُ غَلْيَانِ الْمَاءِ — تُحَوِّلُ الْحَرَارَةُ الْمَاءَ السَّائِلَ إِلَى غَازٍ هُوَ بُخَارُ الْمَاءِ . وَمُعْظَمُ الْمَوَادِّ الْأُخْرَى تَقْرِيْبًا يَحْدُثُ بِهَا مِثْلُ هَذِهِ التَّغْيِيرَاتِ عِنْدَ دَرَجَاتِ حَرَارَةٍ خَاصَّةٍ بِهَا . وَكُلُّ مِنْ هَذِهِ التَّحَوُّلَاتِ — الْمُسَمَّاةِ أَطْوَارًا أَوْ تَغْيِيرَاتٍ فِي حَالَةِ الْمَادَّةِ — تَحْدُثُ بِسَبَبِ الْحَرَارَةِ .

الْفَرْقُ بَيْنَ الْجَلِيدِ ، وَالْمَاءِ ، وَبُخَارِ الْمَاءِ هُوَ فِي تَرْتِيبِ الْجُزَيَّاتِ . فَبِالْجَلِيدِ (يَسَار) تَرْتَبِطُ جُزَيَّاتُ بَطِيئَةِ الْحَرَكَةِ أَرْبَاطًا وَثِيقًا . وَالْحَرَارَةُ تُضْعِفُ هَذِهِ الرُّوَابِطَ (وَسَط) فَيَنْصَهَرُ الْجَلِيدُ ، وَزِيَادَةُ الْحَرَارَةِ تُحَرِّرُ الْجُزَيَّاتِ عَلَى صُورَةِ غَازٍ (أَقْصَى يَسَار) .





لِمَاذَا يَظَلُّ الْجَلِيدُ بَارِدًا أَثْنَاءَ انصِهَارِهِ ؟

٢ - عند زيادة كمية الحرارة ، فإن جزيئات الماء على سطح الجليد تهتز أسرع ، وتكسر بعض الروابط بينها فتهرب هذه الجزيئات من الجليد على شكل ماء سائل . وزيادة الحرارة تكسر الروابط الباقية وينصهر الباقي الجليد .

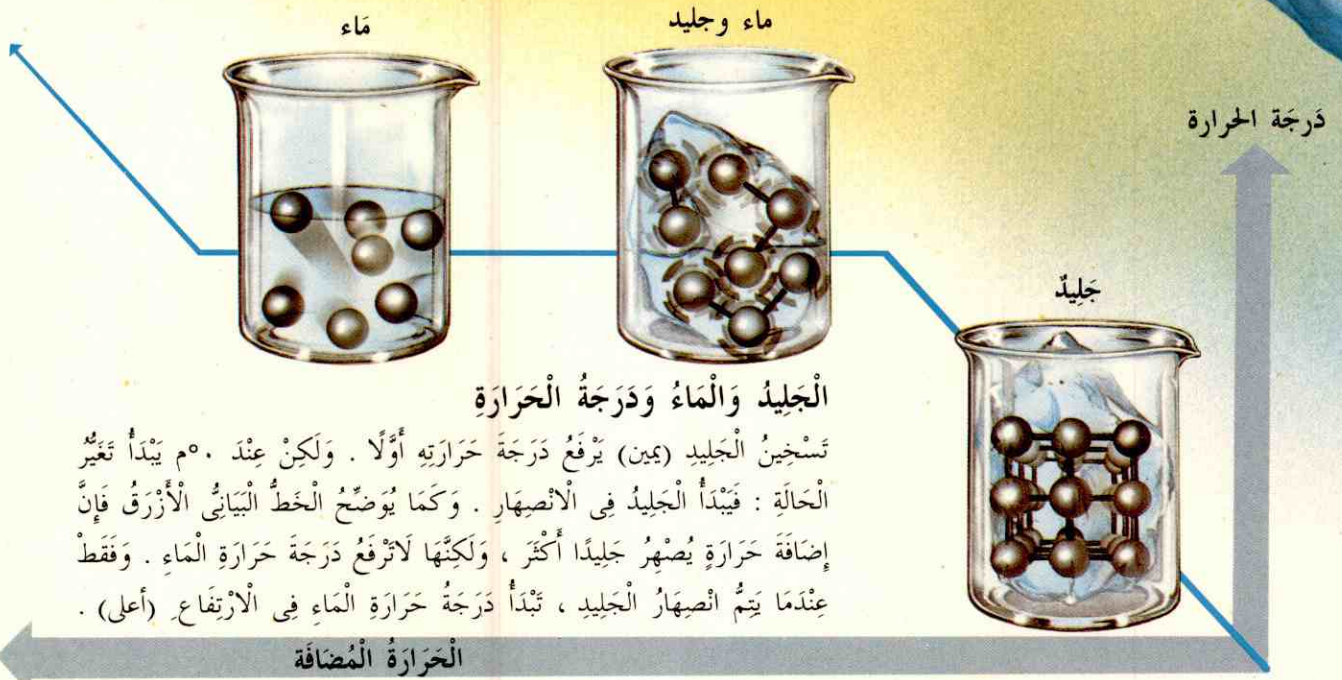
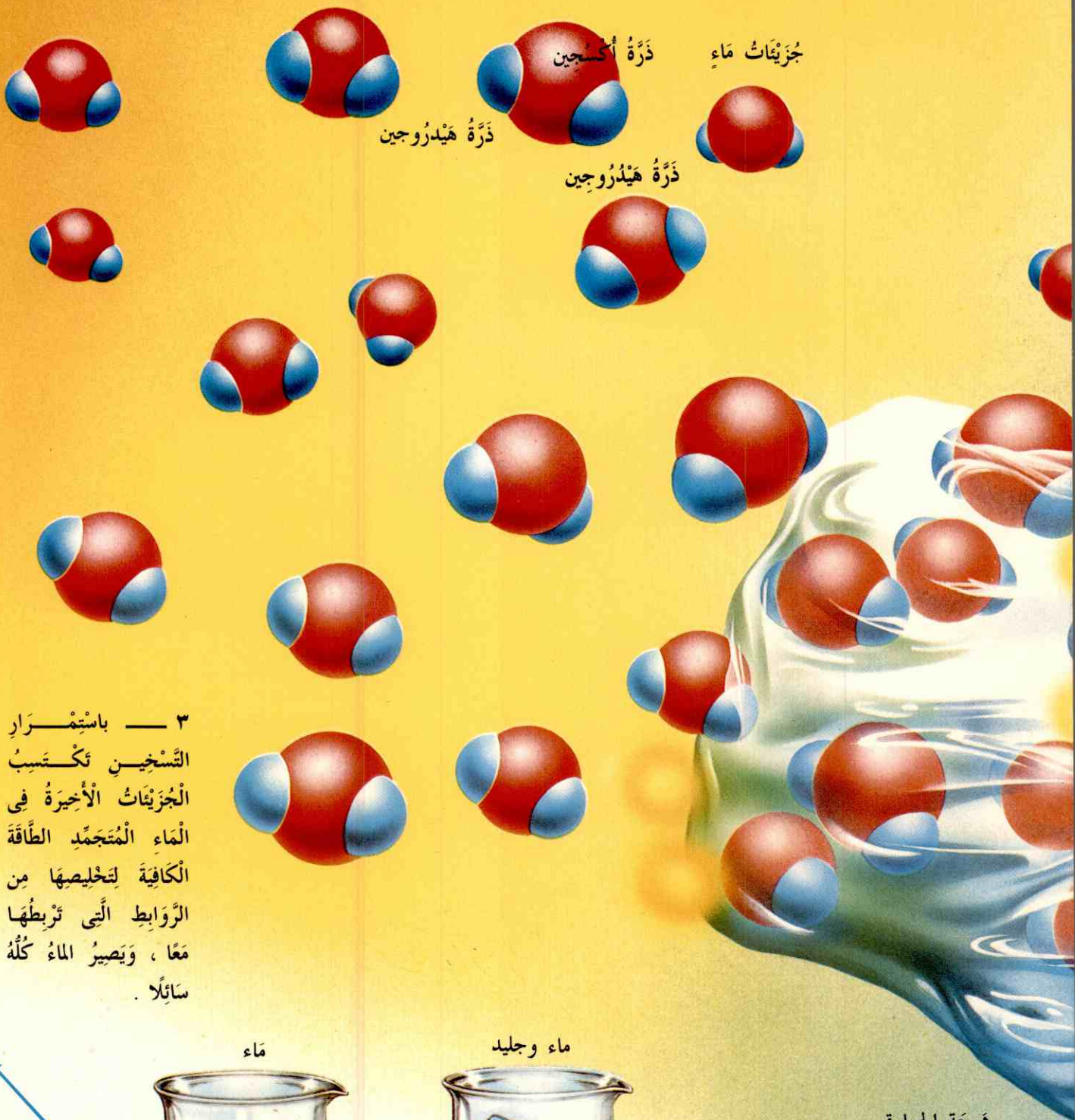
إِذَا وُضِعَ الْجَلِيدُ فِي إِنَاءٍ فَوْقَ مَوْقِدٍ مُشْتَعِلٍ ، فَإِنَّ الْإِنَاءَ يَسْخُنُ ، وَيَبْدَأُ الْجَلِيدُ فِي الْانصِهَارِ . وَلَكِنْ مَاذَا هُنَاكَ جَلِيدٌ فِي الْإِنَاءِ ، فَإِنَّ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ لَا تَرْتَفِعُ عَنْ ٥٠ م° (٣٢ ف°) مَهْمَا كَانَتْ دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْمَوْقِدِ . وَسَبَبُ ذَلِكَ أَنَّ كُلَّ الْحَرَارَةِ تُسْتَفَدُ فِي كَسْرِ الْقُوَى الْفِيزِيَاءِيَّةِ الَّتِي تَرْتَبُطُ جُزْئِيَّاتِ الْمَاءِ بِبَعْضِهَا مُكَوَّنَةُ الْجَلِيدِ .

وَتَرْتَبُطُ جُزْئِيَّاتُ الْمَاءِ فِي الْجَلِيدِ بِرَوَابِطٍ ضَعِيفَةٍ بَيْنَ ذَرَّةٍ هَيْدُرُوجِينَ (أَزْرَقُ) عَلَى جُزْئِيٍّ مَاءٍ وَذَرَّةٍ أُكْسِجِينٍ (أَحْمَرُ) لِجُزْئِيٍّ مَاءٍ آخَرَ . وَتَكُونُ الْبِلُّورَةُ السُّدَاسِيَّةُ النَّاتِجَةُ شَدِيدَةُ الْإِزْتِبَاطِ . وَعِنْدَ ٥٠ م° ، تَتَحَرَّكُ الْجُزْئِيَّاتُ بِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ فَتَضْعُفُ الرَوَابِطُ . وَيَتَكَسَّرُ بَعْضُهَا ، فَتَحُولُ بَعْضُ جُزْئِيَّاتِ الْمَاءِ مِنَ الْجَلِيدِ إِلَى السَّائِلِ . وَعَمَلِيَّةُ الْانصِهَارِ هَذِهِ تُسَمَّى تَغْيِيرُ الْحَالَةِ حَيْثُ يَتَغَيَّرُ الْمَاءُ مِنَ الْحَالَةِ الْجَامِدَةِ إِلَى الْحَالَةِ السَّائِلَةِ - وَدَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الَّتِي يَحْدُثُ عِنْدَهَا هَذَا التَّحَوُّلُ تُسَمَّى نَقْطَةُ الْانصِهَارِ .

وَتَكْسِيرُ الرَوَابِطِ الَّتِي تَرْتَبُطُ جُزْئِيَّاتِ الْمَاءِ بِبَعْضِهَا فِي الْجَلِيدِ يَتَطَلَّبُ طَاقَةً ، لِذَرَجَةِ أَنَّ كَمِيَّةَ كَبِيرَةً مِنْ حَرَارَةِ الْمَوْقِدِ تُسْتَهْلَكُ فِي فَصْمِ غُرَى هَذِهِ الرَوَابِطِ بَدَلًا مِنْ رَفْعِ دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْجَلِيدِ . وَكَمِيَّةُ الْحَرَارَةِ اللَّازِمَةِ لِإِكْمَالِ تَغْيِيرِ الْحَالَةِ تُسَمَّى حَرَارَةُ الْانصِهَارِ أَوْ حَرَارَةُ التَّحَوُّلِ ، لِأَنَّهَا لَا تُسَبَّبُ ارْتِفَاعُ دَرَجَةِ الْحَرَارَةِ . وَلَكِنْ بِمُجَرَّدِ أَنَّ تَتَكَسَّرُ آخِرُ الرَوَابِطِ وَيَنْصَهَرُ الْجَلِيدُ بِإِكْمَالِهِ ، فَإِنَّ دَرَجَةَ حَرَارَةِ الْمَاءِ تَبْدَأُ فِي الارتفاعِ عَنْ ٥٠ م° .

١ - فِي الْجَلِيدِ ، تَتَحَرَّكُ جُزْئِيَّاتُ الْمَاءِ ببطء شديد فتترابط ببعضها البعض مكونة جامدًا . وعندما يسخن الجليد (الكرات الصفراء تمثل الحرارة) تكتسب الجزيئات طاقة وتتحرك أسرع ولكنها مازالت مترابطة معًا على صورة جليد .

كَيْفَ يَنْصَهَرُ الْجَلِيدُ



كَيْفَ تَقَاسُ دَرَجَاتُ الْحَرَارَةِ شَدِيدَةَ الارتفاع ؟

لِقِيَاسِ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ الْعَالِيَةِ (أَسْفَلَ) وَفِيهِ يُحَسُّ الْمَكْشَافُ بِالْإِشْعَاعِ الصَّادِرِ مِنَ الْجِسْمِ السَّاخِنِ ، وَتَقُومُ مَاسِحَاتٌ بِاخْتِيَارِ مَجْمُوعَةٍ فَقَطْ عَلَى الْجِسْمِ لِتَقْدِيرِ تَوْزِيْعِ دَرَجَةِ الْحَرَارَةِ . وَيُقَارَنُ حَاسِبٌ آتَى بَيْنَ الْإِشَارَاتِ الصَّادِرَةِ مِنَ الْمَصْدَرَيْنِ ، وَتَحْدُدُ دَرَجَةَ حَرَارَةِ الْجِسْمِ السَّاخِنِ . وَيَقِيسُ التَّرْمُوجَرَامُ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ حَتَّى ٩٠٠°م (١٦٥٢°ف) .

أَمَّا الْأَجْسَامُ الْفَائِقَةُ السُّخُونَةَ فَتَبْعُثُ إِشْعَاعَاتٍ مَرِيئَةً بِالْإِضَافَةِ لِلْأَشْعَةِ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ . وَالْبِيرُومِتْرُ الضَّوئِيُّ مِنْ نَوْعِ الْفَتِيلَةِ الْمُخْتَفِيَةِ يُمَكِّنُهُ قِيَاسُ دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ حَتَّى ٣٠٠٠°م (٥٤٣٢°ف) بِمُقَارَنَةِ سَطُوعِ الْجِسْمِ السَّاخِنِ بِسَطُوعِ فَتِيلِ مِصْبَاحٍ تَنَجِسُنُ دَرَجَةَ حَرَارَتِهِ مَعْرُوفَةً .

إِنَّ قِيَاسَ دَرَجَةِ حَرَارَةِ دِيكِ رُومِيٍّ مُهِمَّةٌ بَسِيطَةٌ ، إِذْ نَضَعُ فِي جِسْمِهِ تَرْمُومِتْرًا مُعِينًا . وَلَكِنَّا إِذَا حَاوَلْنَا ذَلِكَ مَعَ حَدِيدٍ مُنْصَهَرٍ فِي فُرْنٍ لَافِحٍ حَيْثُ تَزِيدُ دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ عَلَى ١٥٠٠°م ، فَإِنَّ التَّرْمُومِتْرَ يَنْصَهَرُ . وَلِقِيَاسِ مِثْلِ هَذِهِ الدَّرَجَاتِ الْعَالِيَةِ جِدًّا ، تَقَاسُ طَاقَةُ الْإِشْعَاعِ الْحَرَارِيِّ الَّتِي تَبْعَثُهَا هَذِهِ الْأَجْسَامُ السَّاخِنَةُ . وَالطَّاقَةُ الْحَرَارِيَّةُ الْإِشْعَاعِيَّةُ هِيَ الْأَشْعَةُ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ ، وَهِيَ مِثْلُ الضَّوِّ صُورَةً مِنَ الْإِشْعَاعِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيْسِيِّ . وَرَغْمَ أَنَّ الْأَشْعَةَ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ غَيْرُ مَرِيئَةٍ ، فَإِنَّ بَعْضَ الْأَجْهَزَةِ الْأَلِكْتْرُونِيَّةِ يُمَكِّنُهَا الْكَشْفُ عَنْهَا . وَهَذِهِ الْمَكْشَافَاتُ تُحَوِّلُ الْأَشْعَةَ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ إِلَى إِشَارَةِ كَهْرَبِيَّةٍ تَزْدَادُ شِدَّتُهَا بِازْدِيَادِ طَاقَةِ الْأَشْعَةِ الَّتِي يَتَعَرَّضُ لَهَا الْكَشَافُ . وَالتَّرْمُوجَرَامُ هُوَ أَحَدُ أَنْوَاعِ التَّرْمُومِتْرَاتِ

كَيْفَ يَعْمَلُ التَّرْمُوجَرَامُ

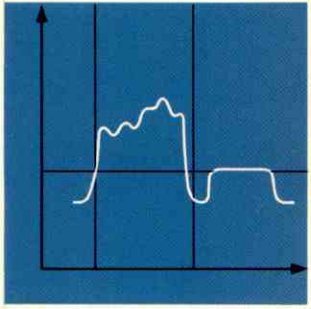
مِكْشَافُ الْأَشْعَةِ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ

مِرَاةٌ مَاسِحَةٌ

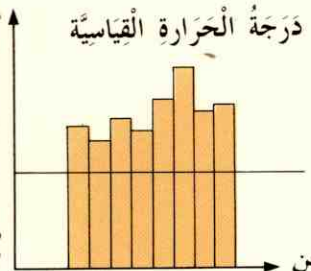
لَوْنُهَا وَهِيَ سَاحِنَةٌ

تُرَكِّزُ الْمَرَايَا وَالْعَدَسَاتُ الْأَشْعَةَ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ الْمُنْبَعِثَةَ مِنْ جِسْمٍ سَاخِنٍ — عَلَى مِكْشَافٍ لِلْأَشْعَةِ تَحْتَ الْحَمَرَاءِ (أَعْلَى) . وَيُصْدِرُ الْمِكْشَافُ إِشَارَةً تُدَلُّ عَلَى كَمِّيَّةِ طَاقَةِ الْإِشْعَاعِ (أَعْلَى يَسَارَ) . ثُمَّ يُحَوِّلُ حَاسِبٌ آتَى هَذِهِ الْإِشَارَاتِ إِلَى الْوَانِ لَيْسَهْلٍ رُؤْيَتِهَا (يَسَارَ) .

الْجُهْدُ النَّاتِجُ



دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الْقِيَاسِيَّةِ



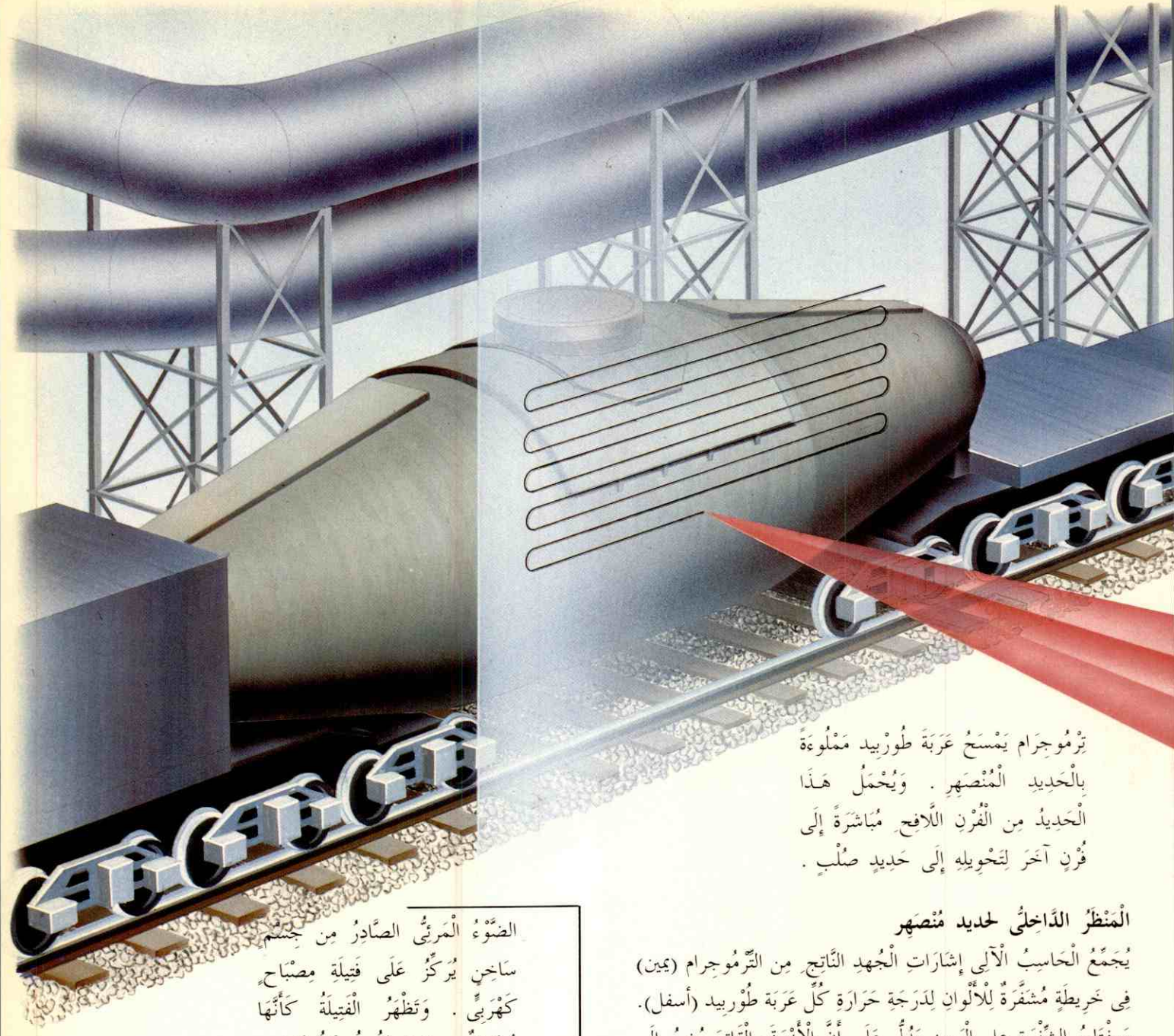
الزَّمَنُ

السُّطُوعُ



تَحَوُّلُ اللَّوْنِ





تُرْمَوْجَرَامَ يَمَسِّحُ عَرَبَةَ طُورِيدَ مَمْلُوءَةً
بِالْحَدِيدِ الْمُنْصَهَرِ . وَيُحْمَلُ هَذَا
الْحَدِيدُ مِنَ الْفُرْنِ الْمُلَافِحِ مُبَاشَرَةً إِلَى
فُرْنٍ آخَرَ لِتَحْوِيلِهِ إِلَى حَدِيدِ صَلْبٍ .

الْمَنْظَرُ الدَّاخِلِيُّ لِحَدِيدِ مُنْصَهَرٍ

يُجْمَعُ الْحَاسِبُ الْآلِيَّ إِشَارَاتِ الْجُهْدِ النَّاتِجِ مِنَ التَّرْمُوجَرَامِ (يَمِين)
فِي خَرِيْطَةٍ مُشَفَّرَةٍ لِلْأَلْوَانِ لِدَرَجَةِ حَرَارَةِ كُلِّ عَرَبَةِ طُورِيدَ (أَسْفَلَ).
وَمِفْتَاحُ الشَّفْرَةِ عَلَى الْيَمِينِ يَدُلُّ عَلَى أَنَّ الْأَزْرَقَ الْقَاتِمَ يُشِيرُ إِلَى
أَسْخَنِ الْمَوَاضِعِ . وَتُبَيَّنُ الشَّاشَةُ الْخَرِيْطَةَ الْحَرَارِيَّةَ لِأَرْبَعِ عَرَبَاتٍ
طُورِيدِيَّةٍ .

الضَّوُّ الْمَرْتَبِيُّ الصَّادِرُ مِنْ جِسْمٍ
سَاخِنٍ يُرَكِّزُ عَلَى فِتِيلَةٍ مِصْبَاحٍ
كَهْرَبِيِّ . وَتُظْهَرُ الْفِتِيلَةُ كَأَنَّهَا
مُخْتَفِيَّةٌ ، عِنْدَمَا يَكُونُ سَطْوَعُهَا —
الْمُتَحَكِّمُ فِيهِ بِوَاسِطَةِ جُهْدٍ كَهْرَبِيِّ
مُنْضَبِطٍ — مُسَاوِيًا لِسَطْوَعِ
الجِسْمِ .

بَيْرُومِتْرُ ضَوْئِيٍّ

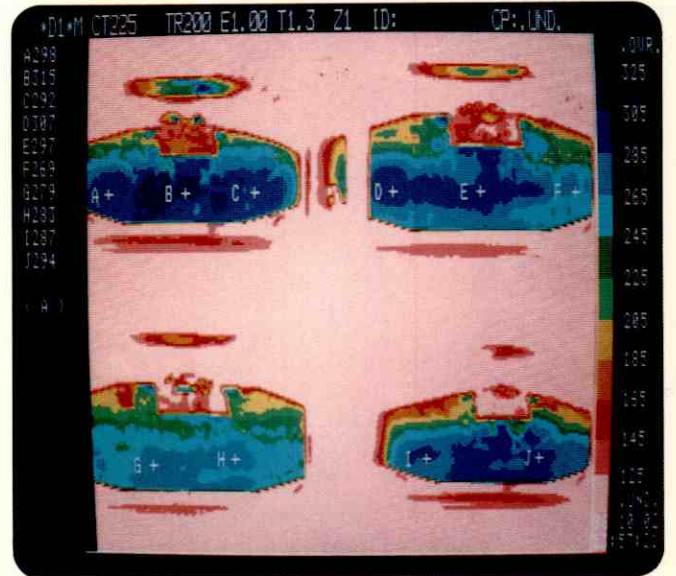
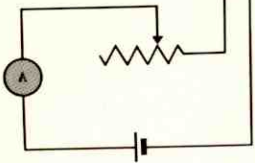
مُرْشَحُ أَحْمَرٍ

فِتِيلَةُ تَنَجَسُّنٍ

جِسْمٌ سَاخِنٌ

عَدَسَةٌ عَيْنِيَّةٌ

عَدَسَةٌ شَبِيْئَةٌ



كَيْفَ تَنْتَشِرُ الْحَرَارَةُ فِي الْمَوَاقِعِ ؟

تِيَّارَاتُ الْحَمْلِ فِي الْمَاءِ
الْمَاءُ السَّاحِنُ يَفْقِدُ بَعْضَ حَرَارَتِهِ عِنْدَمَا يَصْعَدُ مِنْ
قَاعِ كَأْسٍ مُسَخَّنٍ إِلَى السَّطْحِ . وَيَكُونُ الْمَاءُ
تَحْتَهُ أَسْحَنَ مِنْهُ ، فَيُدْفَعُهُ إِلَى الْجَانِبِ لِيَجِلَّ
مَحِلَّهُ ، وَيَهْبِطُ الْمَاءُ الْبَارِدُ الْأَكْبَرُ كَثَافَةً ، مِنْ
الْجَانِبِ لِأَسْفَلَ .

يَرْتَفِعُ الْمَاءُ السَّاحِنُ
لِأَنَّهُ أَقْلُ كَثَافَةً

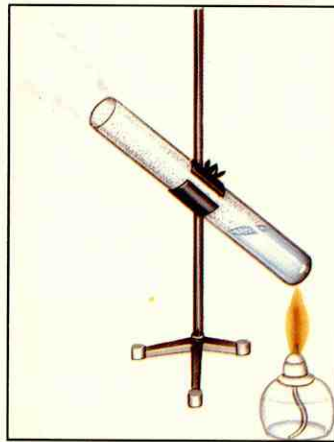
يَهْبِطُ الْمَاءُ الْبَارِدُ ،
لِأَنَّهُ أَكْبَرُ كَثَافَةً

عِنْدَ تَلْوِينِ الْمَاءِ ، يُمَكِّنُ
مُشَاهَدَةَ تِيَّارَاتِ الْحَمْلِ

اللَّهَبُ يُضِيفُ
طَاقَةً

تَسْخِنُ أَى مَائِعَ ، كَالْمَاءِ وَالْهَوَاءِ ، يَجْعَلُهُ يَتَمَدَّدُ فَيَصْبَحُ
أَخْفَ . وَبِالْمِثْلِ ، فَإِنْ تَبَرَّدَ الْمَائِعُ يَجْعَلُهُ يَنْكَمِشُ
فَيَصْبَحُ أَثْقَلَ . وَالْجَمْعُ بَيْنَ هَذَيْنِ الْحَدِيثَيْنِ الْفِيزِيَائِيَّيْنِ
الْمُتَضَادَّيْنِ يُسَمَّى الْحَمْلَ ، وَهِيَ عَمَلِيَّةٌ تَنْقُلُ الْحَرَارَةَ
خِلَالَ أَحْجَامٍ كَبِيرَةٍ مِنْ أَى سَائِلٍ أَوْ غَازٍ .

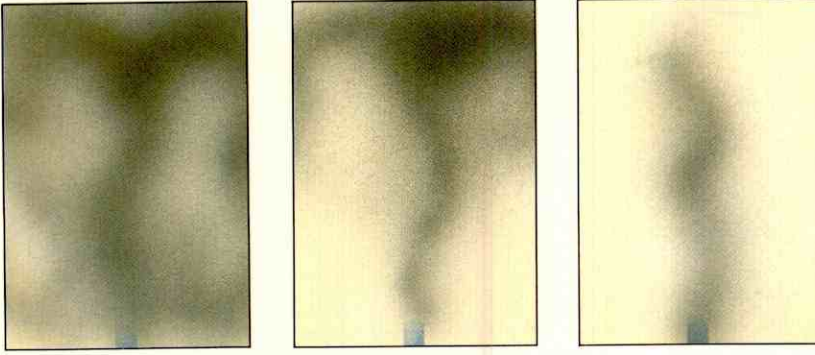
وَعِنْدَ وَضْعِ إِنَاءٍ بِهِ مَاءٌ عَلَى مَوْقِدٍ (يسار)، فَإِنَّ الْمَاءَ فَوْقَ
اللَّهَبِ يَمْتَصُّ طَاقَةً . وَهَذِهِ الطَّاقَةُ تُسَبِّبُ ابْتِعَادَ جُزْئِيَّاتِ
الْمَاءِ عَنْ بَعْضِهَا الْبَعْضِ ، فَيَصْبَحُ الْمَاءُ أَقْلَ كَثَافَةً .
فَيَرْتَفِعُ الْمَاءُ السَّاحِنُ (عمود برتقالي)، وَاللُّونُ الْقَاتِمُ فَوْقَ
اللَّهَبِ فِي هَذَا الرَّسْمِ يُوضِّحُ ذَلِكَ . وَفِي نَفْسِ الْوَقْتِ
فَإِنَّ الْمَاءَ الْبَارِدَ عِنْدَ السَّطْحِ (أَسْفَلَ حَمْرَاءَ) — وَهُوَ أَثْقَلُ
— يَهْبِطُ لِيَجِلَّ مَحِلَّ الْمَاءِ السَّاحِنِ . وَاتِّئَاءَ ارْتِفَاعِ الْمَاءِ
السَّاحِنِ ، يَفْقِدُ بَعْضَ طَاقَتِهِ إِلَى الْمَاءِ الَّذِي يَمُرُّ خِلَالَهُ ،
فَيَبْرُدُ قَلِيلًا . وَهَكَذَا يَسْتَمِرُّ الْمَاءُ السَّاحِنُ فِي الصُّعُودِ ،
وَالْمَاءُ الْبَارِدُ فِي الْهَبُوطِ . وَتَتَوَقَّفُ تِيَّارَاتُ الْحَمْلِ بَعْدَ
إِطْفَاءِ اللَّهَبِ ، وَوُصُولِ الْمَاءِ كُلِّهِ إِلَى دَرَجَةِ حَرَارَةٍ
وَاحِدَةٍ .



الْحَمْلُ بِالسَّخِينِ
تَسْخِنُ الْمَاءَ فِي أُثْبُوبٍ اخْتِبَارٍ
عِنْدَ قَاعِدَةِ الْأُثْبُوبِ (يسار)
يُسَخَّنُ الْمَاءُ ، فَيَرْتَفِعُ وَيَجِلُّ
مَحِلَّهُ الْمَاءُ الْبَارِدُ الْأَثْقَلُ ،
لِيَسْخُنَ هُوَ أَيْضًا . وَفِي النِّهَايَةِ
يَسْخُنُ كُلُّ الْمَاءِ . أَمَّا تَسْخِينُ
الْمَاءِ بِالْقُرْبِ مِنْ سَطْحِهِ
(أَسْفَلَ) يَسْخُنُ فَقَطُ الْمَاءِ عِنْدَ
السَّطْحِ ، لِأَنَّ الْمَاءَ السَّاحِنَ
الْأَخْفَ سَيُظَلُّ عِنْدَ السَّطْحِ
فَوْقَ الْمَاءِ الْبَارِدِ .



يُوضَحُ الدُّخَانُ كَيْفَ تَتَكَوَّنُ تَيَّارَاتُ الْحَمْلِ فِي الْهَوَاءِ (أعلى). وَتَبْدَأُ الْعَمَلِيَّةُ
(يمين) بِارْتِفَاعِ الْهَوَاءِ السَّاحِنِ فِي غُرْفَةٍ لِأَعْلَى . وَعِنْدَمَا يَصِلُ الْهَوَاءُ

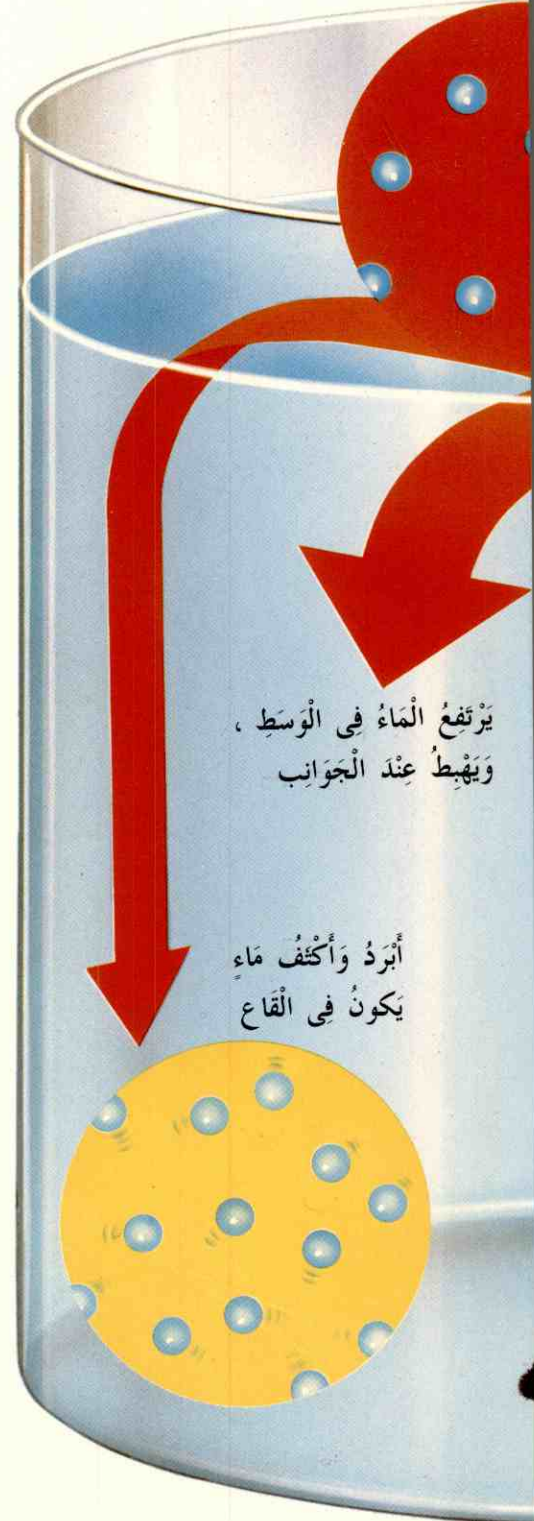
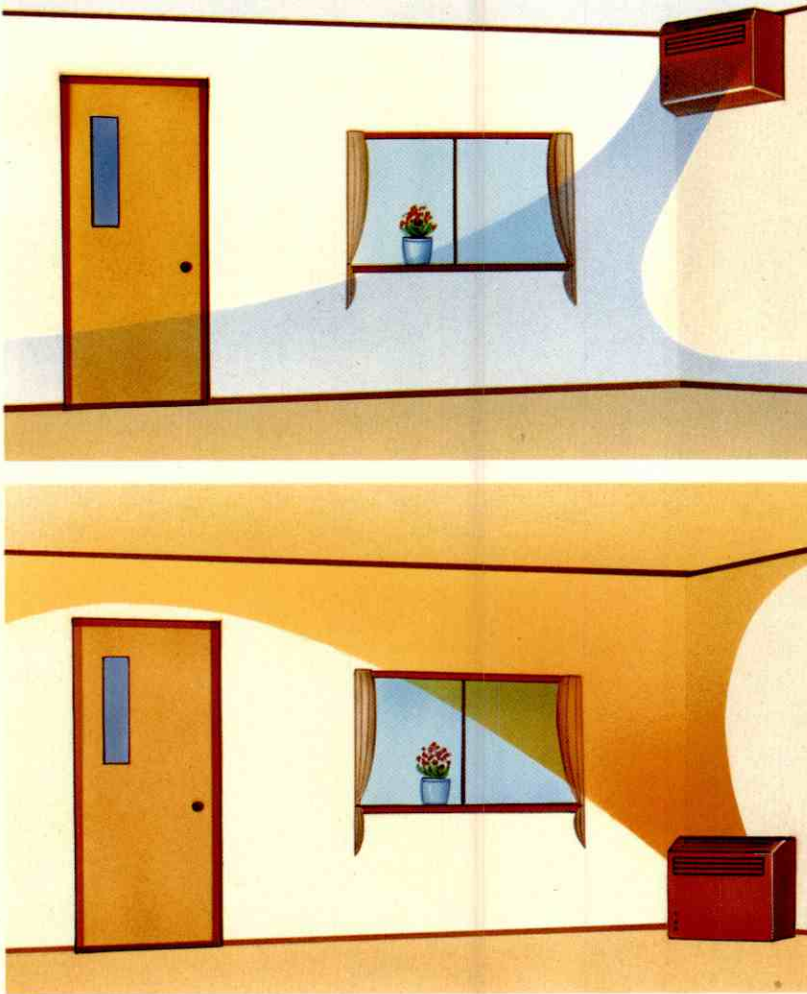


الْحَمْلُ فِي غَايِ

السَّاحِنُ إِلَى السَّقْفِ (وسط) يَنْتَشِرُ إِلَى الْجَانِبَيْنِ نَتِيجَةً دَفْعِ الْهَوَاءِ السَّاحِنِ
الْمُتَصَاعِدِ . وَلَآئِذَا يَفْقِدُ بَعْضَ حَرَارَتِهِ ، فَإِنَّهُ يَهْبِطُ ثَانِيَةً إِلَى الْأَرْضِ . ثُمَّ
يُدْفَعُ إِلَى مَكَانِ اللَّهَبِ مَعَ تَيَّارَاتِ الْهَوَاءِ الْبَارِدِ (يسار) فَيَسْخُنُ وَيَرْتَفِعُ
ثَانِيَةً ، وَهَكَذَا .

تَسْخِنُ وَتَبْرِدُ غُرْفَةٌ

جِهَازُ تَكْيِيفِ الْهَوَاءِ يُبْرِدُ غُرْفَةً بِكِفَايَةٍ إِذَا كَانَ قَرِيبًا مِنَ السَّقْفِ (أسفل) ، لِأَنَّ الْهَوَاءَ
الْبَارِدَ (أزرق) يَهْبِطُ ، وَيَنْتَشِرُ بِوَسِطَةِ تَيَّارَاتِ الْحَمْلِ . وَبِالْمِثْلِ ، تَعْمَلُ الْمِدْفَاعَةُ أَفْضَلَ
حِينَ تُوضَعُ عَلَى الْأَرْضِ (أسفل) ، لِأَنَّ الْهَوَاءَ السَّاحِنَ (برتقالي) يَرْتَفِعُ وَيَدُورُ فِي
الْحُجْرَةِ .



مَاذَا يَجْعَلُ السُّتْرَةَ الزَّغَبِيَّةَ بِهَذَا الدَّفْءِ ؟

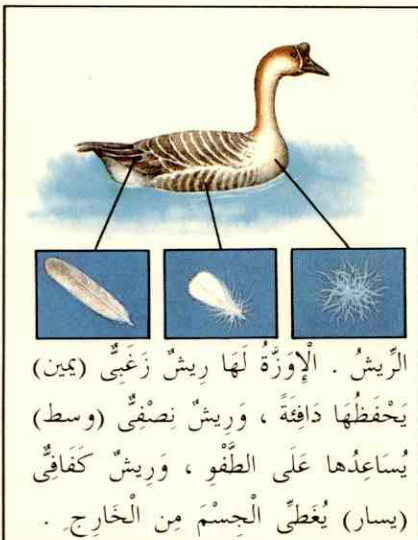
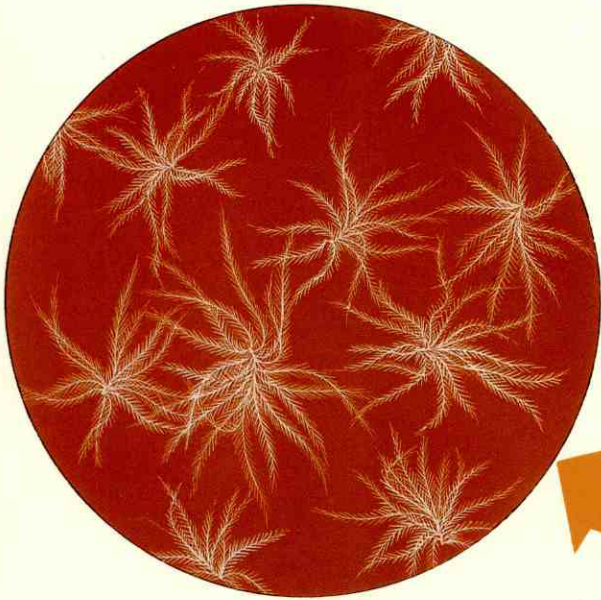
الْأَبْرَدُ . وَالْجِسْمُ الدَّافِئُ يَفْقِدُ حَرَارَةً عِنْدَمَا تَسْتَمِدُّ جُزْئِيَّاتُ الْهَوَاءِ طَاقَةً مِنْهُ ، فَتَزْدَادُ سُرْعَتُهَا وَتَبْتَعِدُ عَنِ الْجِلْدِ الدَّافِئِ . وَيَحْمِلُ كُلُّ جُزْءٍ هَوَاءً قَدْرًا قَلِيلًا مِنَ الطَّاقَةِ . وَكُلَّمَا زَادَتِ الطَّاقَةُ الَّتِي تَأْخُذُهَا الْجُزْئِيَّاتُ ، زَادَ شَعُورُ الشَّخْصِ بِالْبُرُودَةِ .

وَالزَّغَبُ يُبْطِئُ فَقَدْ الْحَرَارَةَ بِفَعَالِيَةٍ لِأَنَّهُ يَتَدَخَّلُ فِي عَمَلِيَةِ الْحَمْلِ . فَلِكُلِّ رِيَشَةٍ زَغَبِيَّةٍ آلاَفُ الشَّعِيرَاتِ الدَّقِيقَةِ . وَتَتَدَخَّلُ الشَّعِيرَاتُ الدَّقِيقَةُ لِلرَّيشِ الْمُتَجَاوِرِ مُكَوَّنَةً شَبَكَةً دَقِيقَةً تُعَوِّقُ حَرَكَةَ الْهَوَاءِ . وَبِتَقْلِيلِ حَرَكَةِ الْهَوَاءِ ، تَقُلُّ بِالتَّالِيِ عَمَلِيَّةُ حَمْلِ الْحَرَارَةِ ، وَيَظَلُّ الْجِسْمُ دَافِئًا .

أَيُّ شَخْصٍ يَخْرُجُ فِي طَقْسٍ بَارِدٍ دُونَ سُتْرَةٍ سَيَشْعُرُ بِقُشْعَرِيرَةٍ لِأَنَّ الْجِسْمَ يَفْقِدُ حَرَارَةً بِالتَّوَصِيلِ وَالْحَمْلِ إِلَى الْهَوَاءِ الْبَارِدِ . وَلَكِنْ دَاخِلَ سُتْرَةٍ زَغَبِيَّةٍ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ الدَّافِئَ يَظَلُّ دَافِئًا . وَهَذَا لِأَنَّ الزَّغَبَ — وَهُوَ نَوْعٌ مِنَ الرِّيشِ الْعَازِلِ الَّذِي يُسَاعِدُ الْإَوْرَزَ وَالْبَطَّ عَلَى أَنْ تَظَلَّ دَافِئَةً أَثْنَاءَ طَفْوِهَا فِي الطَّقْسِ الْبَارِدِ — لَهُ تَرَكِيبٌ لَا يَسْمَحُ لِلْهَوَاءِ الْمَلَامِسِ لِلْجِسْمِ أَنْ يَتَحَرَّكَ مُبْتَعِدًا إِلَى الْهَوَاءِ الْأَبْرَدِ . وَمَادَامَ الْهَوَاءُ لَمْ يَتَحَرَّكْ ، فَإِنَّ حَرَارَةَ الْجِسْمِ لَنْ تَنْتَقِلَ بَعِيدًا عَنْهُ .

وَتَنْتَقِلُ الْحَرَارَةُ عَادَةً مِنَ الْمِنْطَقَةِ السَّاخِنَةِ إِلَى الْمِنْطَقَةِ

كَيْفَ تَعْمَلُ السُّتْرَةُ الزَّغَبِيَّةُ الْحَرَارَةَ
الرَّيشُ الصَّغِيرُ أَوْ الزَّغَبُ ، الَّذِي يَمَلَأُ هَذِهِ السُّتْرَةَ
يَتَكَوَّنُ مِنْ آلاَفِ الشَّعِيرَاتِ الدَّقِيقَةِ الَّتِي تَنْمُو مِنْ
شَعْرَاتٍ مَرَّتَيْنِ (يَسَارَ) . وَهَذَا التَّرَكِيبُ يَمْنَعُ مِنَ
التَّكَدُّسِ عَلَى بَعْضِهِ ، فَلَا يَفْقِدُ قُدْرَتَهُ عَلَى الْعَزْلِ
الْحَرَارِيِّ .



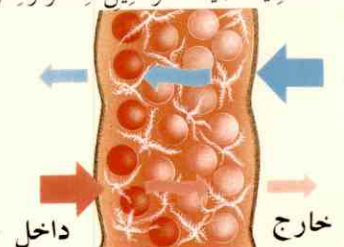
شبكة . تكون شعيرات الزغب
شبكة تحجز الهواء (أصفر) في
جيوب . ولأن الهواء لا يستطيع
الانتشار ، فهو لن ينقل الحرارة .

الموصلية الحرارية

وحدة الموصلية	٢	٤	٦	٨
هواء	٢,٤			
قطن	٤			
صوف	٤			
ورق			٦	
بوليسترين				٨
حديد				٧٢٠٠

الموصلية الحرارية تقيس كيف تسرى الحرارة خلال مادة . والموصلية الحرارية للزغب منخفضة (٢,٤) ويعزل جيداً ، وكذلك الهواء (الجدول) . وعلى العكس ، فالحديد جيد التوصيل للحرارة وهو غازل رديء .

الزغب يقلل حركة الهواء (الأسهم) ، فيحفظ الحرارة ، ويمنع البرد .

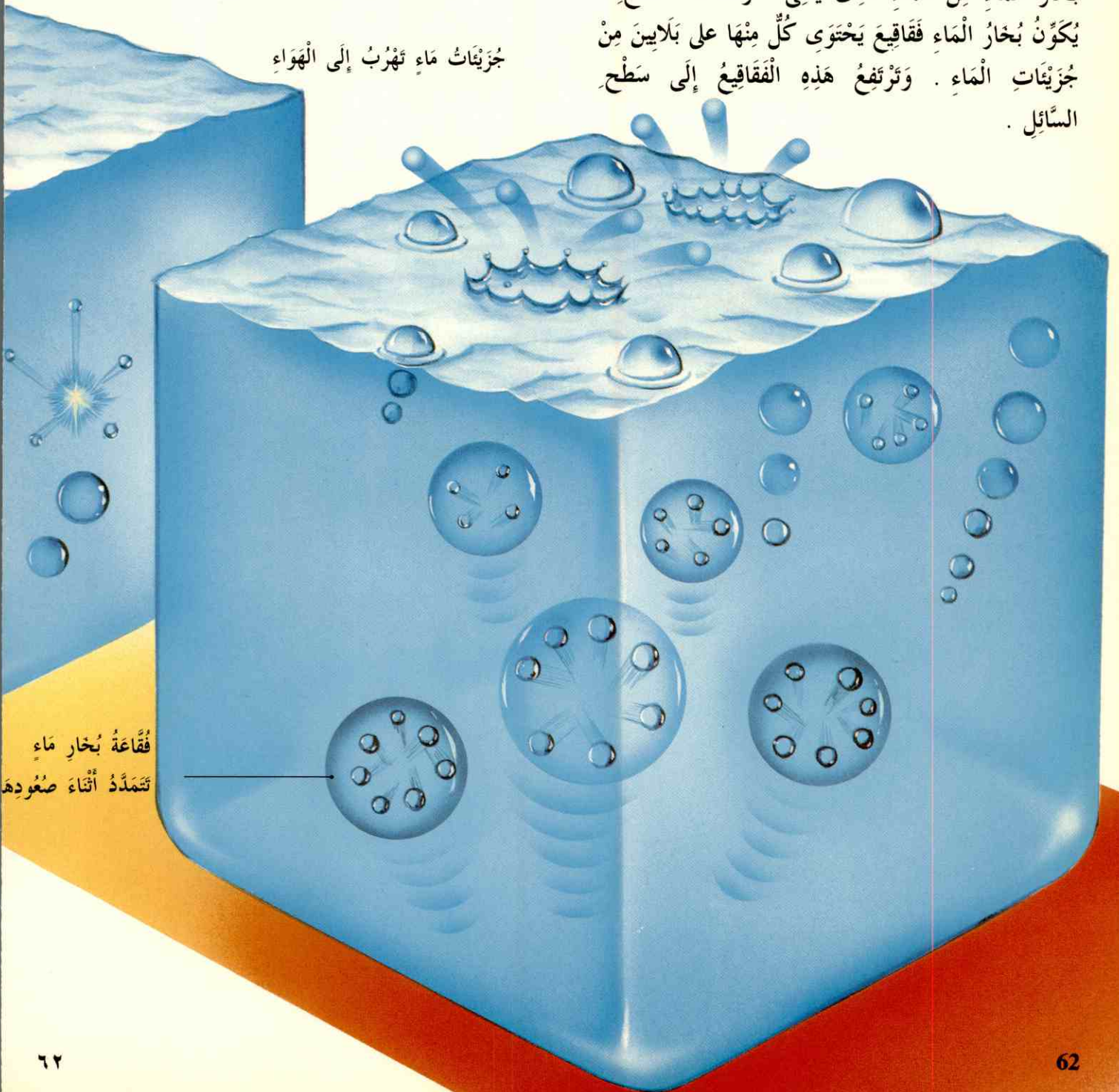


لماذا يخرج الماء فقائِع وهو يغلى ؟

وَالْمَاءُ الَّذِي يَغْلَى يَمُرُّ بِتَغْيِيرٍ فِي الْحَالَةِ ، مِنْ الْحَالَةِ السَّائِلَةِ إِلَى الْغَازِيَةِ بِعَمَلِيَّةٍ تُسَمَّى التَّبَخُّرَ وَيُمْكِنُ أَنْ تَتَبَخَّرَ السَّوَائِلُ عِنْدَ دَرَجَاتٍ حَرَارَةٍ أَقَلَّ مِنْ دَرَجَةِ الْغَلْيَانِ ، فِي عَمَلِيَّةٍ تُسَمَّى التَّبَخُّرَ . وَلَكِنَّ الْبَحْرَ يَحْدُثُ فَقْطُ عِنْدَ السَّطْحِ ، حَيْثُ تُكُونُ طَاقَةُ الْجُزَيَّاتِ كَافِيَةً لِهَرُوبِهَا مِنْ الْحَالَةِ السَّائِلَةِ . وَرَغْمَ أَنَّ الْبَحْرَ يَحْدُثُ أَسْرَعَ كُلَّمَا كَانَتْ دَرَجَاتُ الْحَرَارَةِ أَعْلَى ، إِلَّا أَنَّ الْغَلْيَانَ فَقْطُ هُوَ الَّذِي يُكُونُ فَقَاقِيعَ .

إِذَا سُحِّنَ أَى سَائِلٍ ، فَإِنَّهُ يَصِلُ فِي النَّهَايَةِ إِلَى دَرَجَةِ حَرَارَةٍ يَبْدَأُ عِنْدَهَا الْغَلْيَانُ . فَتَسْكُونُ فَقَاقِيعُ دَاخِلِ السَّائِلِ ، ثُمَّ تَرْتَفِعُ إِلَى السَّطْحِ وَتَنْفَجِرُ مُخْرِجَةً بُخَارًا سَاحِنًا فِي الْهَوَاءِ . وَيَغْلَى الْمَاءُ عِنْدَ ١٠٠°م (٢١٢°ف) وَعِنْدَ دَرَجَةِ الْغَلْيَانِ ، يَكْتَسِبُ كُلُّ جُزْيَةٍ طَاقَةً كَافِيَةً لِلتَّغَلُّبِ عَلَى الْقُوَى الَّتِي تُرْبِطُهُ بِالْجُزَيَّاتِ الْأُخْرَى عَلَى صُورَةِ سَائِلٍ . فَمَثَلًا إِذَا بِهِ مَاءٌ يَغْلَى يَكُونُ مَمْلُوءًا بِمَاءِ سَائِلٍ يَتَحَوَّلُ إِلَى بُخَارٍ مَاءٍ . وَعِنْدَ السَّطْحِ ، يَهْرُبُ بُخَارُ الْمَاءِ مِنَ الْمَاءِ الَّذِي يَغْلَى . وَتَحْتَ السَّطْحِ ، يُكُونُ بُخَارُ الْمَاءِ فَقَاقِيعَ يَحْتَوِي كُلُّ مِنْهَا عَلَى بِلَاقِينَ مِنْ جُزَيَّاتِ الْمَاءِ . وَتَرْتَفِعُ هَذِهِ الْفَقَاقِيعُ إِلَى سَطْحِ السَّائِلِ .

جُزَيَّاتُ مَاءٍ تَهْرُبُ إِلَى الْهَوَاءِ



فُقَاعَةُ بُخَارِ مَاءٍ
تَتَمَدَّدُ أَتْنَاءَ صُعُودِهَا

حَيَاةُ وَمَوْتُ الْفَقَائِعِ

١ - يَحْتَوِي الْمَاءُ عَلَى هَوَاءٍ مُذَابٍ أَوْ مَحْجُوزٍ فِيهِ مُلتَصِقًا بِدَقَائِقِ التُّرَابِ (يَمِين) وَبَارْتِفَاعِ دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْمَاءِ ، فَإِنَّ الْهَوَاءَ الْمَحْجُوزَ يُصْبِحُ ذَوْبَانًا . وَتَتَكَوَّنُ فَقَائِعُ هَوَاءٍ صَغِيرَةٌ ، يَهْرُبُ مُعْظَمُهَا بِسُرْعَةٍ إِلَى الْهَوَاءِ . وَخُرُوجُ هَذِهِ الْفَقَاعَاتِ لَيْسَ غَلِيظًا .

هَوَاءٌ مَحْجُوزٌ عَلَى
دَقَائِقِ التُّرَابِ يَتَمَدَّدُ
مُكَوَّنًا فَقَائِعَ
هَوَائِيَّةً .

فَقَاعَاتٌ دَقِيقَةٌ مِنْ
الْبُخَارِ تَتَّصِلُ بِفَقَاعَةٍ
أَكْبَرَ .

فَقَاعَةُ بُخَارٍ مَاءٍ تَتَكَوَّنُ عَلَى دَقِيقَةِ تُرَابٍ

٢ - وَبِافْتِرَابِ الْمَاءِ مِنْ نُقْطَةِ
الْغَلِيَانِ ، تَتَكَوَّنُ فَقَائِعُ بُخَارٍ مَاءٍ
تَتَجَمَّعُ حَوْلَ التُّرَابِ أَوْ
الشُّوَابِ الأُخْرَى . وَفِي هَذِهِ
الْفَقَاعَاتِ ، تَزِيدُ دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ
عَنْ نُقْطَةِ الْغَلِيَانِ .

٣ - وَيَدْخُلُ بُخَارُ مَاءٍ أَكْثَرُ فِي
الْفَقَاعَاتِ الْأُولَى . وَلَكِنْ لِأَنَّ الْمَاءَ
الْمُحِيطَ مَا زَالَ بَارِدًا ، فَإِنَّ هَذِهِ
الْفَقَاعَاتِ تَنْكَمِشُ وَهِيَ صَاعِدَةٌ ،
وَتَتَقَوَّضُ قَبْلَ أَنْ تَصِلَ إِلَى السَّطْحِ .

حَجَرٌ لِمَنْعِ الْفُورَانِ

الْمَاءُ الْمُقَطَّرُ وَالسُّوَابِلُ النَّقِيَّةُ الْمُسْتَحْدَمَةُ فِي
الْمَعَامِلِ ، لَا تُوفِّرُ مَكَانًا لِتَكَوُّنِ الْفَقَاعَاتِ نَظَرًا
لِخُلُوقِهَا مِنَ الْأَثَرِيَّةِ وَالشُّوَابِ . وَفِي مِثْلِ هَذِهِ
السُّوَابِلِ ، قَدْ يَتَكَوَّنُ لَوْحٌ كَبِيرٌ مِنْ فَقَاعَاتِ
الْبُخَارِ ، يَقْدِفُ السَّائِلَ الَّذِي يُغْلَى إِلَى خَارِجِ
الْإِنَاءِ فِي فُورَانٍ خَطِيرٍ . وَلِمَنْعِ هَذَا الْفُورَانِ ،
يُوضَعُ فِي السَّائِلِ حَجَرٌ بِهِ بَضْعَةُ ثُقُوبٍ دَقِيقَةٍ
(يسار) حَيْثُ تَتَوَفَّرُ مَرَاكِزُ لِتَكَوُّنِ الْفَقَاعَاتِ
تَدْرِيجِيًّا .

٤ - تَتَكَوَّنُ فَقَاعَاتٌ فِي أَى
أَجْزَاءِ الْمَاءِ الَّذِي يُغْلَى .
وَتَكْبُرُ هَذِهِ الْفَقَاعَاتُ عِنْدَ
صُعُودِهَا إِلَى السَّطْحِ ،
حَيْثُ تَنْفَجِرُ . وَيَهْرُبُ مِنْهَا
بُخَارُ الْمَاءِ إِلَى الْعَوِّ .



لماذا لا يحترق الجلد في حمام الهواء الساخن (السونا)؟

في حمام السونا ، يُدْفئ الهواء الساخن الجاف الجلد في الحال ولكنه لا يحرقه . ودرجة الحرارة في هذا الحمام تقترب من ١٠٠م ، وهي درجة غليان الماء عند مستوى سطح البحر ، ولذلك تبدو الحرارة كافية لحرق الجلد . وفي الحقيقة ، فإن سقوط ماء يغلي على الجلد يحرقه . ولكن السونا ممارسة سارة وغير خطيرة . والسبب في سلامة السونا ، هو أن الهواء داخلها به قدر ضئيل جداً من الرطوبة . ويسخن الجلد لاصطدام جزيئات الهواء النشطة به ، فتنتقل إليه الطاقة وترفع درجة حرارة الجلد . ولكن الجلد عندما يسخن ، فإنه يبدأ في العرق ، وهذه آلية الجسم للاحتفاظ بدرجة حرارة آمنة . ويتبخر العرق بسرعة في هواء السونا الجاف آخذاً معه طاقة حرارية . وإذا كان هواء السونا رطباً ، لما عرق الجلد بدرجة كافية ، وكان احتمال حرق الجلد كبيراً . وتطبق نفس النظرية عندما يلامس الجلد ماء يغلي . فعند التلامس المباشر بين جزيئات الماء الساخن النشطة والجلد ، فإن الجلد لا يتمكن من العرق فلا يبرد . وترتفع درجة حرارته بسرعة ، ويحترق الجلد .

حفظ التوازن

حرارة تخرج من
تبخّر العرق

عرق يتبخر

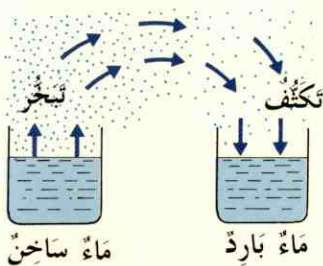
بخار ماء يتكثف
على الجلد

بخار الماء وبخار العرق

عندما يكون الجلد أبرد من هواء السونا ، فإن بخار الماء في السونا (أسهم زرقاء) يتكثف على الجلد ويكتسب الجلد حرارة . وإذا اكتسب الجلد حرارة كثيرة جداً ، فإنه يعرق . والعرق المتبخر (أسهم أرجوانية) من الجلد يبرده . والافتراق بين هاتين العمليتين ، يحمي الجلد .

كيف ينقل بخار الماء الحرارة

عند وضع كأس بها ماء ساخن بجوار كأس بها ماء بارد ، يتبخر الماء الساخن ، ويفقد حرارة أثناء ذلك ، وتتحرك جزيئات كثيرة من بخار الماء . ويتحرك بعضها إلى المواضع التي يوجد بها قلة من جزيئات بخار الماء ، فوق البارد . فتتكثف عندما تقابل الماء البارد . وهذه العملية ، تُضيف طاقة إلى الماء البارد ، وترتفع درجة حرارته . ويستمر ذلك ، حتى يصبح الماء في الكأسين عند درجة حرارة واحدة .

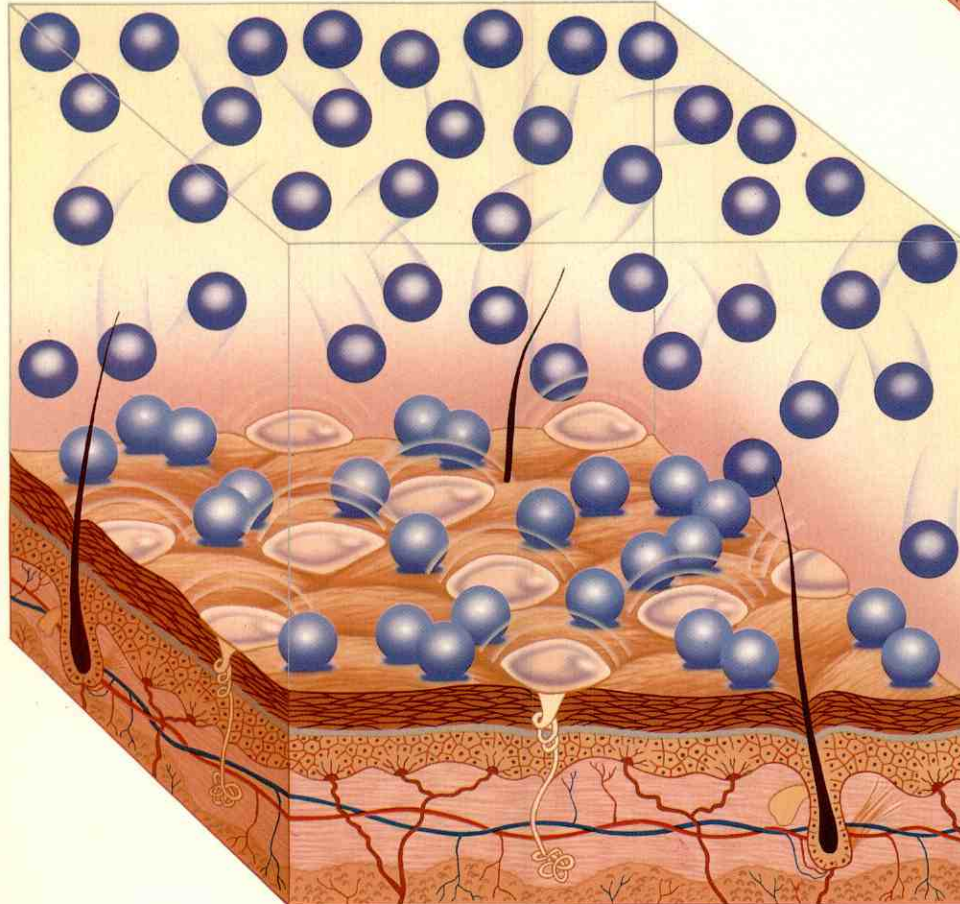
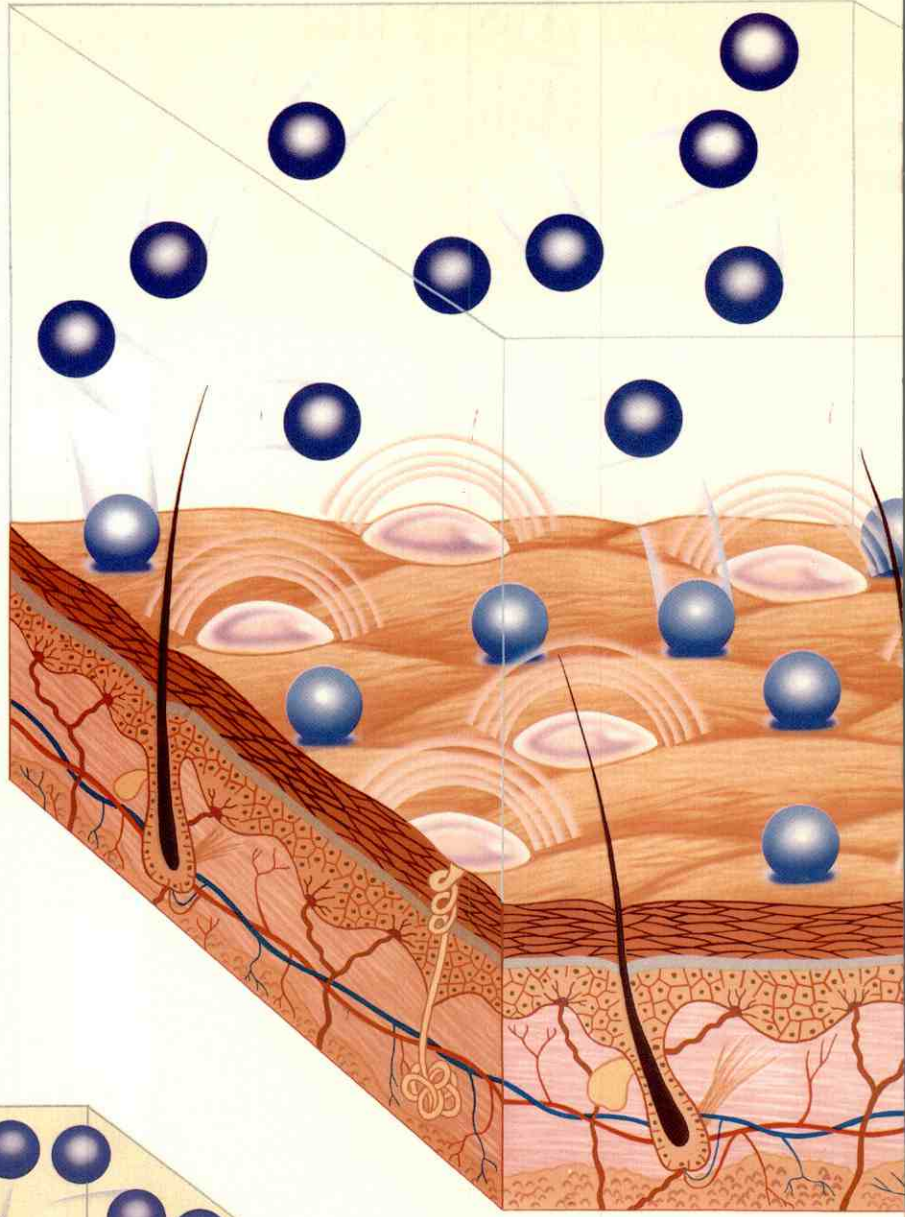


كَيْفَ تَحْمِي الرُّطُوبَةُ الْمُنْحَفِضَةُ الْجِلْدَ

عِنْدَمَا تَكُونُ رُطُوبَةُ السَّوْنَا مُنْحَفِضَةً (يَمِين) فَإِنَّ الْجِلْدَ يُمَكِّنُهُ أَنْ يُحَافِظَ عَلَى دَرَجَةِ حَرَارَةٍ آمِنَةٍ ، وَيَتَجَنَّبَ الْحَرَقَ . فَفِي هَذِهِ الظُّرُوفِ ، يَكُونُ عَدَدُ جُزَيْئَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ النَّشِيطَةِ قَلِيلًا (كُرَاتٌ زُرْقَاءُ) ، وَهِيَ فَقَطُ الْقَادِرَةِ عَلَى الْأَصْطِدَامِ بِالْجِلْدِ ، وَالتَّكثُّفِ عَلَيْهِ ، نَاقِلَةً إِلَيْهِ طَاقَةَ حَرَارِيَّةٍ . وَهَكَذَا يَمْتَصُّ الْجِلْدُ طَاقَةَ حَرَارِيَّةٍ قَلِيلَةً نَسْبِيًّا مِنْ هَوَاءِ السَّوْنَا السَّاحِنِ الْجَافِّ . كَمَا أَنَّ الرُّطُوبَةَ الْقَلِيلَةَ ، تُسَاعِدُ الْجِسْمَ عَلَى فَقْدِ مَزِيدٍ مِنَ الْحَرَارَةِ عَنْ طَرِيقِ الْعَرَقِ . وَعِنْدَمَا يَتَبَخَّرُ الْعَرَقُ مِنْ سَطْحِ الْجِلْدِ ، فَإِنَّ جُزَيْئَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ تَأْخُذُ طَاقَةَ حَرَارِيَّةٍ مَعَهَا ، فَيَبْرُدُ الْجِلْدُ .

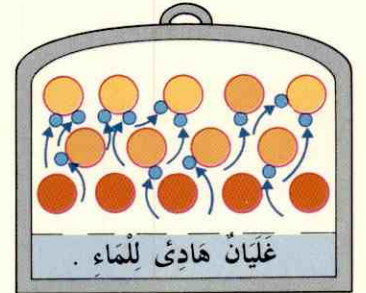
كَيْفَ تَحْرِقُ الرُّطُوبَةُ الْعَالِيَةُ الْجِلْدَ

إِذَا كَانَ هَوَاءُ السَّوْنَا عَالِيًا الرُّطُوبَةَ (أَسْفَلَ) ، فَإِنَّ الْجِلْدَ قَدْ يُوَاجِهُ مُشْكِلَاتٍ فِي تَنْظِيمِ دَرَجَةِ حَرَارَتِهِ فَيَتَعَرَّضُ لِلْحَرَقِ . فَفِي هَذِهِ الظُّرُوفِ ، يَصْطَدِّمُ بِالْجِلْدِ كَثِيرٌ مِنْ جُزَيْئَاتِ بُخَارِ الْمَاءِ النَّشِيطَةِ ، وَتَنْقُلُ طَاقَةَ إِلَيْهِ . وَهَكَذَا يَكْتَسِبُ الْجِلْدُ حَرَارَةً بِسُرْعَةٍ فِي السَّوْنَا الرُّطْبَةِ أَكْثَرَ مِنْهَا فِي السَّوْنَا الْجَافَّةِ . وَفِي هَذَا الْوَسْطِ الْأَكْثَرُ رُطُوبَةً ، لَا يَتِمَكَّنُ الْجِلْدُ مِنَ الْعَرَقِ بِسُرْعَةٍ ، وَيَظَلُّ الْجِلْدُ سَاخِنًا مُدَّةً أَطْوَلَ ، فَيَحْتَرِقُ .



تَسْخِينُ الطَّعَامِ فِي مَبْخَرَةٍ

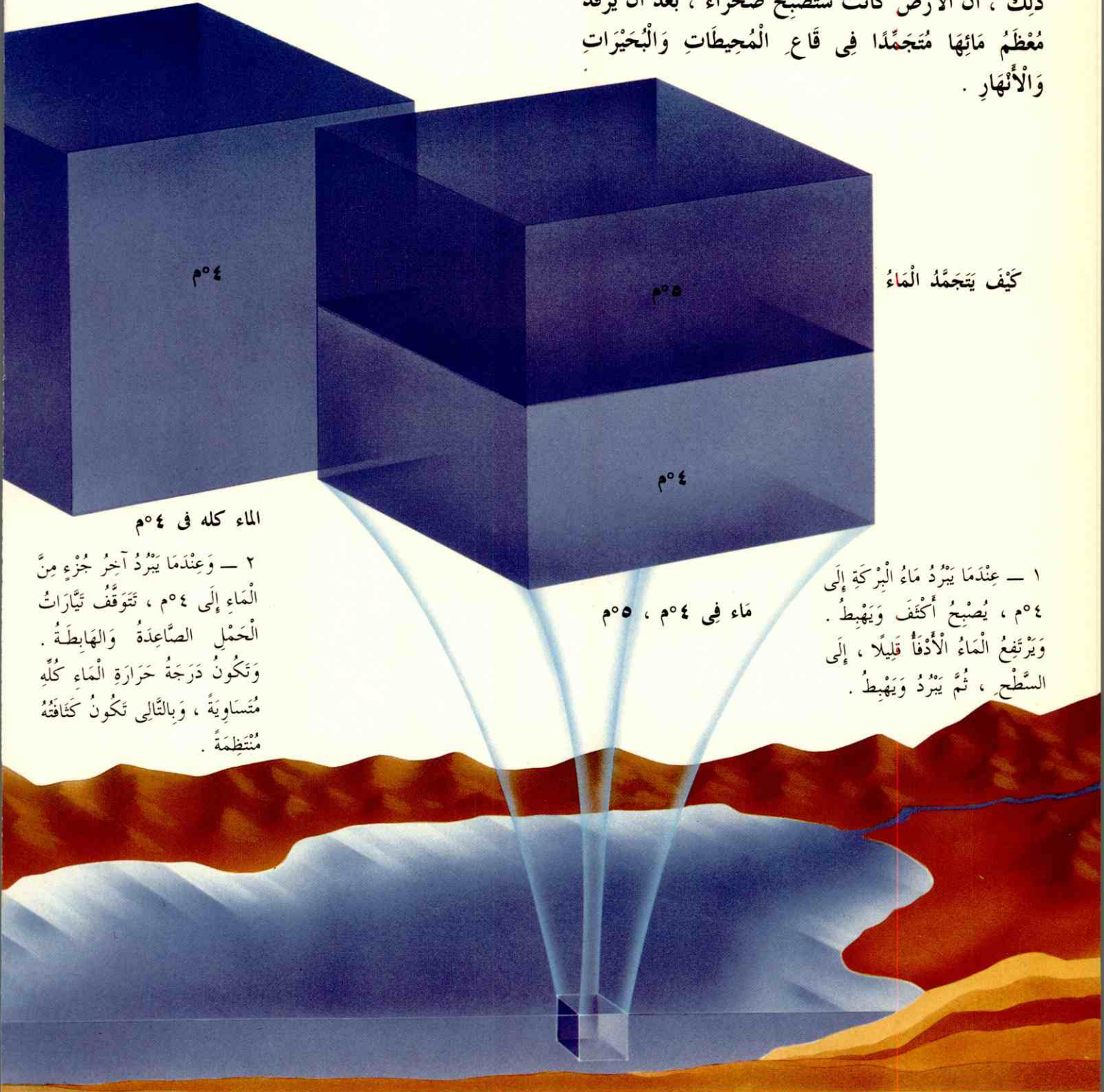
يُسَخَّنُ الطَّعَامُ فِي مَبْخَرَةٍ (أَسْفَلَ) لِأَنَّ بُخَارَ الْمَاءِ السَّاحِنِ يُمَكِّنُهُ أَنْ يَصِلَ إِلَى الطَّعَامِ مِنْ جَمِيعِ الْجَوَانِبِ ، وَيَتَكثَّفُ فَقَطُّ عَلَى الْأَجْسَامِ الْأَبْرَدِ مِنَ الْبُخَارِ . وَكُلَّمَا كَانَ الْجِسْمُ أَبْرَدَ ، زَادَ الْبُخَارُ الْمَتَكَثُّ عَلَيْهِ ، فَسَخَّنَ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ .



لِمَاذَا يَتَجَمَّدُ الْمَاءُ مِنْ أَعْلَى ؟

وَتَنَكِّمِشُ مُعْظَمُ السَّوَائِلِ عِنْدَمَا تَبْرُدُ فَيَقِلُّ حَجْمُهَا وَتَزْدَادُ كَثَافَتُهَا . فَالشَّمْعُ الْجَامِدُ — مَثَلًا — يَغُوصُ فِي قَاعِ إِنَاءٍ بِهِ شَمْعٌ مُنْصَهَرٌ . وَتَنَكِّمِشُ الْمَاءُ أَيْضًا ، وَلَكِنْ يَحْدُثُ ذَلِكَ فَقَطْ حَتَّى تَصِلَ دَرَجَةُ حَرَارَتِهِ إِلَى ٤° م (٣٩° ف) . وَتَحْتَ هَذِهِ الدَّرَجَةِ يَبْدَأُ فِي التَّمَدُّدِ وَتَقِلُّ كَثَافَتُهُ . وَلِذَلِكَ يَكُونُ الْجَلِيدُ أَقْلَ كَثَافَةً مِنَ الْمَاءِ الْقَرِيبِ لِلتَّجَمُّدِ ، فَيَطْفُو . سُبْحَانَ اللَّهِ خَالِقِ كُلِّ شَيْءٍ بِقَدْرِ .

مِنْ عِلَامَاتِ الشِّتَاءِ فِي الْمَنَاطِقِ الْبَارِدَةِ ، ظُهُورُ جَلِيدٍ طَافَ عَلَى الْبَرِّ وَالْبَحِيرَاتِ . وَقَدْ يَبْدُو ذَلِكَ عَادِيًّا أَوْ غَيْرَ هَامٍّ ، وَلَكِنْ لَوْ كَانَ الْمَاءُ مِثْلَ بَاقِي السَّوَائِلِ ، لَمَا تَمَكَّنَ النَّاسُ مِنَ الْانْتِزَاقِ فَوْقَ سَطْحِ الْجَلِيدِ ، لِأَنَّ الْجَلِيدَ سَيَغُوصُ إِلَى الْقَاعِ بِمَجَرَّدِ تَكُونِهِ . وَالْأَسْوَأُ مِنْ ذَلِكَ ، أَنَّ الْأَرْضَ كَانَتْ سَتُصْبِحُ صَحْرَاءَ ، بَعْدَ أَنْ يَرْقُدَ مُعْظَمُ مَائِهَا مُتَجَمِّدًا فِي قَاعِ الْمُحِيطَاتِ وَالْبَحِيرَاتِ وَالْأَنْهَارِ .



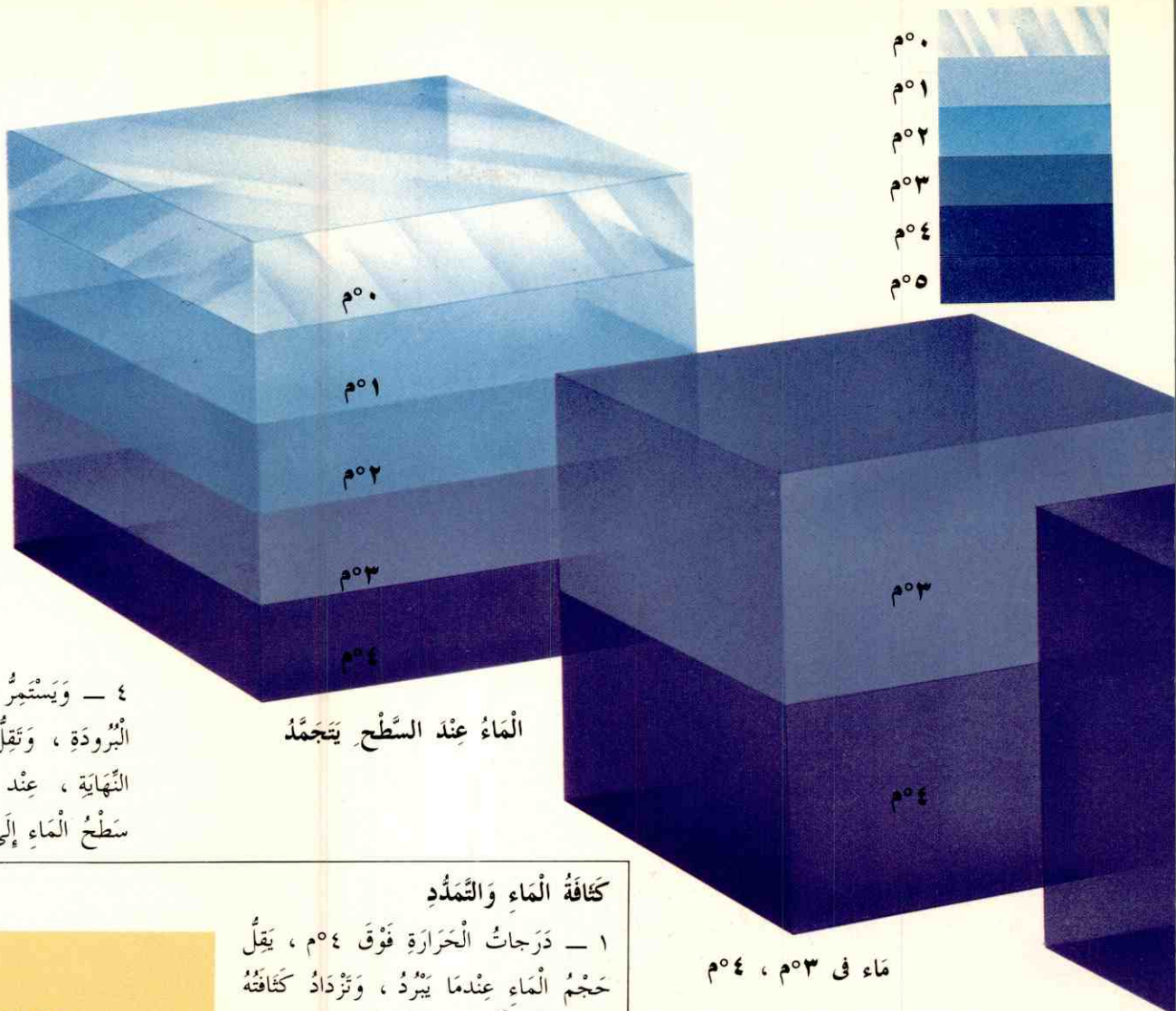
كَيْفَ يَتَجَمَّدُ الْمَاءُ

الماء كله في ٤° م

٢ — وَعِنْدَمَا يَبْرُدُ آخِرُ جُزْءٍ مِنَ الْمَاءِ إِلَى ٤° م ، تَتَوَقَّفُ تَيَّارَاتُ الْحَمْلِ الصَّاعِدَةِ وَالْهَابِطَةِ . وَتَكُونُ دَرَجَةُ حَرَارَةِ الْمَاءِ كُلِّهِ مُتَسَاوِيَةً ، وَبِالتَّالِي تَكُونُ كَثَافَتُهُ مُنْتَظِمَةً .

١ — عِنْدَمَا يَبْرُدُ مَاءُ الْبَرَكَةِ إِلَى ٤° م ، يُصْبِحُ أَكْثَفَ وَيَهْبِطُ . وَيَرْتَفِعُ الْمَاءُ الْأَدْفَا قَلِيلًا ، إِلَى السَّطْحِ ، ثُمَّ يَبْرُدُ وَيَهْبِطُ .

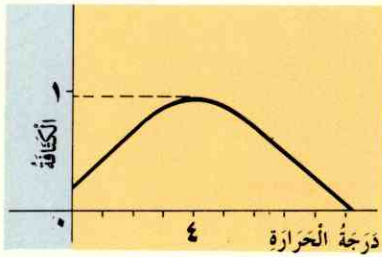
ماء في ٤° م ، ٥° م



٤ - وَيَسْتَجِرُّ سَطْحُ الْمَاءِ فِي
الْبُرُودَةِ ، وَتَقِلُّ كَثَافَتُهُ . وَفِي
النِّهَايَةِ ، عِنْدَ ٠.٥ م ، يَتَجَمَّدُ
سَطْحُ الْمَاءِ إِلَى جَلِيدٍ .

الماء عند السطح يتجمد

كثافة الماء والتمدد

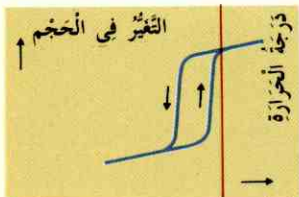


١ - دَرَجَاتُ الْحَرَارَةِ فَوْقَ ٠.٥ م ، يَقِلُّ
حَجْمُ الْمَاءِ عِنْدَمَا يَبْرُدُ ، وَتَزْدَادُ كَثَافَتُهُ
حَتَّى يَبْلُغَ أَقْصَى كَثَافَةٍ لَهُ عِنْدَ ٠.٥ م .
وَلَكِنْ نَحْتَ ٠.٥ م يَتَمَدَّدُ الْمَاءُ عِنْدَمَا يَبْرُدُ ،
فَتَقِلُّ كَثَافَتُهُ . وَتُقَاسُ الْكَثَافَةُ بِقِسْمَةِ الْكُتْلَةِ
عَلَى الْحَجْمِ ، أَوْ بِوَحْدَاتِ جَم / سَم ٣ .

ماء في ٣ م ، ٤ م

٣ - وَلِأَنَّ بَعْضَ الْمَاءِ
السَّطْحِيِّ ، يَبْرُدُ أَقَلَّ مِنْ ٠.٥ م ،
فَإِنَّهُ يَتَمَدَّدُ وَتَقِلُّ كَثَافَتُهُ . وَيَظَلُّ
عَلَى سَطْحِ الْمَاءِ لِأَنَّهُ أَخَفُّ مِنْ
الْمَاءِ ذِي دَرَجَةِ حَرَارَةِ ٠.٥ م .

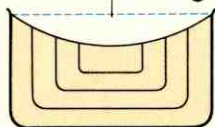
تَجَمُّدُ الشَّمْعِ مُخْتَلِفٌ عَنْ تَجَمُّدِ الْجَلِيدِ
تَتَكَوَّنُ حَدَبَةٌ عَلَى مُكَعَّبِ الْجَلِيدِ (أَسْفَلُ
يَمِينٍ) ، لِأَنَّ الْمَاءَ الَّذِي فِي الْمُنْتَصَفِ
يَتَجَمَّدُ مُوَخَّرًا ، وَيَزْدَادُ حَجْمُهُ فَيَرْتَفِعُ .
أَمَّا فِي كُتْلَةِ الشَّمْعِ فَيَتَكَوَّنُ فِي مُنْتَصَفِهَا
خُفْرَةٌ (وَسَطُ) لِأَنَّ الشَّمْعَ يَقِلُّ حَجْمُهُ
عِنْدَمَا يَتَجَمَّدُ . أَمَّا السَّوَائِلُ الَّتِي تُنْكَشِشُ
بِالنِّظَامِ أَثْنَاءَ تَجَمُّدِهَا (أَسْفَلُ يَسَارٍ) فَإِنَّهَا
تُكُونُ سَطْحًا مُقَعَّرًا .



نقطة التجمد

يَقِلُّ حَجْمُ الشَّمْعِ عِنْدَمَا يَتَجَمَّدُ

السطح الأصلي للسائل



شمع



جليد

دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْبَحِيرَةِ وَالْفُصُولِ
فِي الصَّيْفِ ، يَكُونُ مَاءُ السَّطْحِ أَدْفَا مِنْ
الْقَاعِ . وَفِي الشِّتَاءِ ، قَدْ يَتَجَمَّدُ السَّطْحُ ،
وَلَكِنْ الْقَاعُ يَكُونُ أَدْفَا .

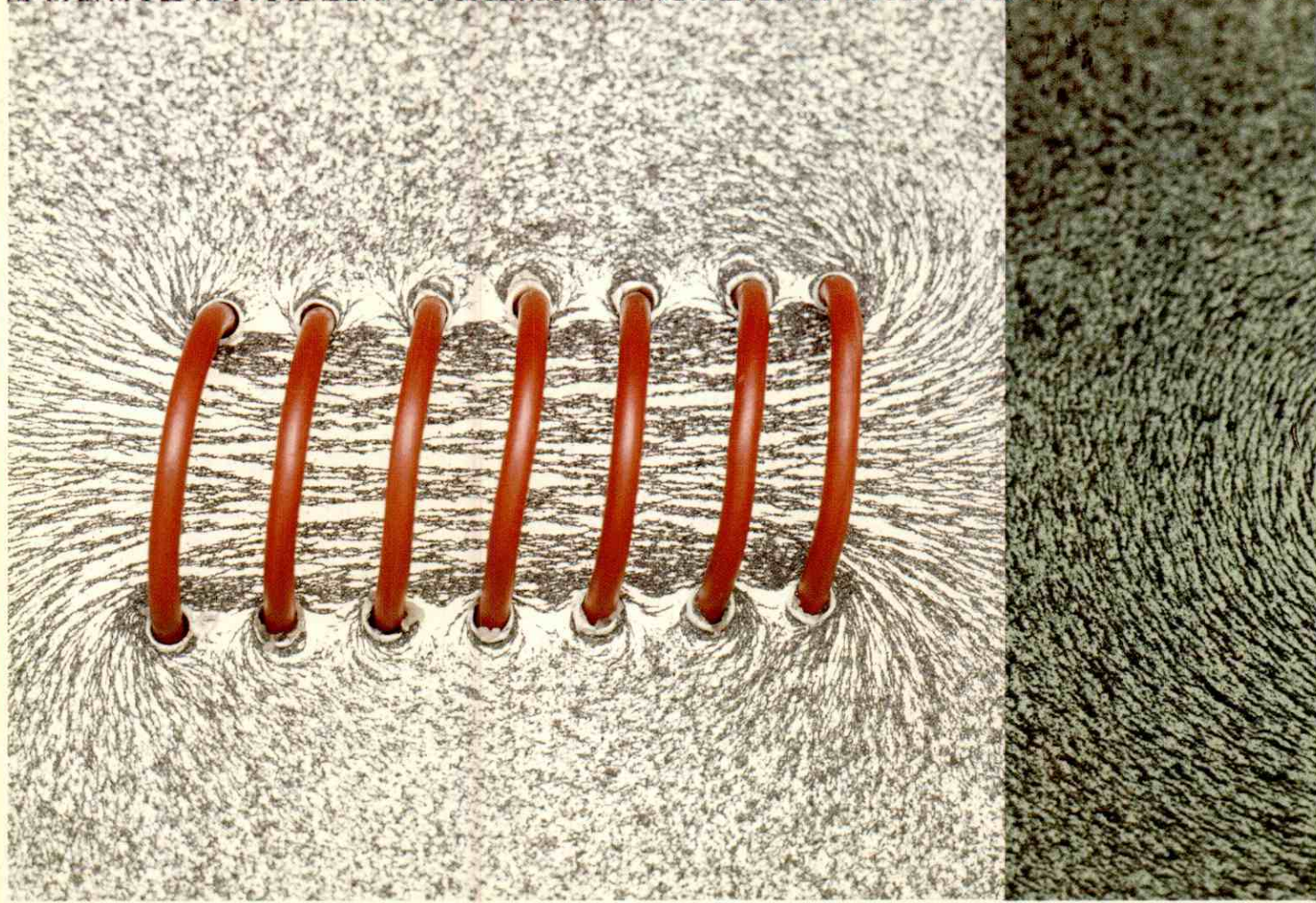
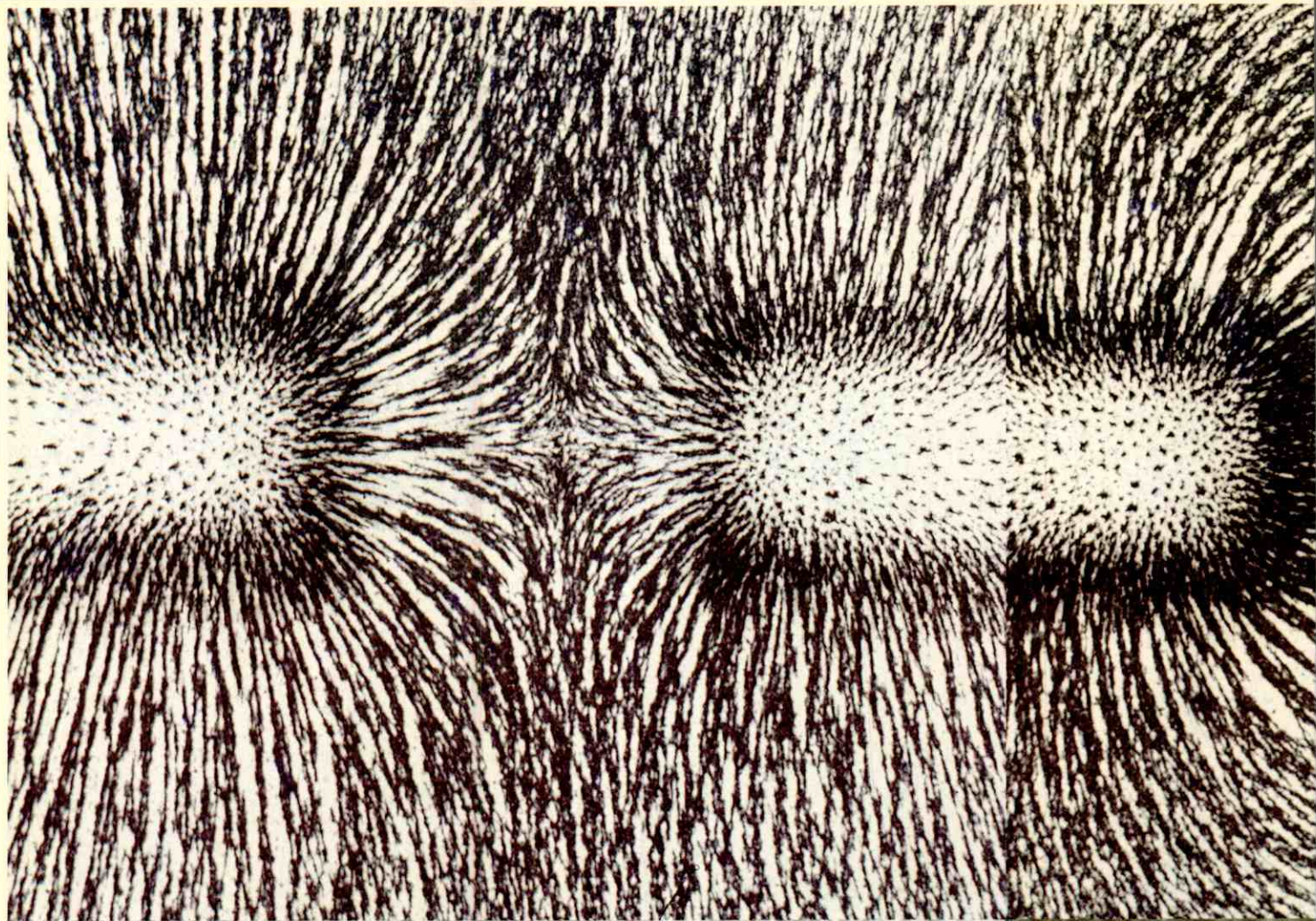
5 الكَهْرَبِيَّةُ وَالْمَغْنَاطِيَّةُ

رَغْمَ أَنَّ الْكَهْرَبِيَّةَ وَالْمَغْنَاطِيَّةَ يَدُورَانِ خَفِيَّيْنِ ، إِلَّا أَنَّهُمَا فِي الْحَقِيقَةِ يَتَوَاجَدَانِ فِي مُعْظَمِ الْأَمَاكِنِ الْعَادِيَّةِ ، وَحَيْثُ تَوْجَدُ الْمَادَّةُ . فَهُمَا يَسْكُنَانِ مُحْتَفِيَّيْنِ فِي الذَّرَاتِ الَّتِي تُكَوِّنُ جَمِيعَ الْأَجْسَامِ . وَحَامِلَاتِ الْقُوَى الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمَغْنَاطِيَّةِ هِيَ دَقَائِقُ مَشْحُونَةٌ ، الْبُرُوتُونَاتُ الْمُوجِبَةُ فِي نَوَاةِ الذَّرَّةِ ، وَالْإِلِكْتُرُونَاتُ السَّالِبَةُ الَّتِي تَدُورُ حَوْلَ النُّوَاةِ كَالْكَوَاكِبِ .

وَيَنْطَبِقُ عَلَى هَذِهِ الدَّقَائِقِ قَانُونٌ طَبِيعِيٌّ يُنْصُ عَلَى تَجَاذُبِ الشُّحُنَاتِ الْمُخْتَلِفَةِ وَتَنَافُرِ الشُّحُنَاتِ الْمُتَمَاثِلَةِ . وَالْكَهْرَبِيَّةُ وَالْمَغْنَاطِيَّةُ هُمَا تَعْبِيرَانِ عَنْ هَذِهِ الْقَاعِدَةِ الْأَسَاسِيَّةِ . وَعِنْدَمَا يَلْتَصِقُ جَوْرَبٌ بِلَوْحٍ فِي مُجَفِّفِ الْمَلَابِسِ ، يَكُونُ السَّبَبُ هُوَ التَّجَاذُبُ بَيْنَ شُحُنَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الْكَهْرَبِيَّةِ الْإِسْتَاتِيكِيَّةِ الْمُتَوَلِّدَةِ . وَعِنْدَمَا يُضَيءُ مِصْبَاحٌ كَهْرَبِيٌّ . فَإِنَّ تَيَّارَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الْمَارِّ فِي السَّلْكِ فِي اتِّجَاهِ شُحْنَةٍ مُوجِبَةٍ يَحْمِلُ الطَّاقَةَ اللَّازِمَةَ .

وَقَدْ وَجَدَ الْعُلَمَاءُ طُرُقًا كَثِيرَةً لِمُتَّحِدَامِ الْقُوَى الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمَغْنَاطِيَّةِ . وَنَتِيجَةُ لِلْعَمَلِيَّاتِ الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمَغْنَاطِيَّةِ فِي الذَّرَاتِ ، فَإِنَّ هَذِهِ الْقُوَى تَظْهَرُ عَلَى صُورٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الطَّاقَةِ ، مِنْهَا التَّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ وَالْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ . وَسَيَتَجَوَّلُ هَذَا الْفَصْلُ بَيْنَ مَصَادِرِ وَسُلُوكِ الْكَهْرَبِيَّةِ وَالْمَغْنَاطِيَّةِ ، وَيَسْتَعْرِضُ بَعْضَ الطَّرِيقِ الْبَارِعَةِ لِقِيَاسِ التَّحَكُّمِ فِي هَذِهِ الْقُوَى الْمُتَمَيِّزَةِ .

بِرَادَةِ الْحَدِيدِ تَرَسُّمُ خُطُوطِ الْقُوَى الْمَغْنَاطِيَّةِ (مُضَادَّ لِحَرَكَةِ عَقْرَبِي السَّاعَةِ مِنْ أَعْلَى) حَوْلَ قُضْبَانٍ مَغْنَاطِيَّةٍ ، سِلْكٌ يَمُرُّ بِهِ تَيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ (يَمِين) وَمِلْفٌ مَعْدِنِيٌّ يَمُرُّ بِهِ تَيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ (أَقْصَى يَمِين) وَتُوضَّحُ الصُّورُ الْعِلَاقَةَ الْوَثِيقَةَ بَيْنَ الْقُوَى الْمَغْنَاطِيَّةِ وَالْكَهْرَبِيَّةِ .



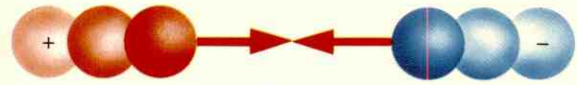
كَيْفَ يَجْذِبُ الْبِلَاسْتِكُ الْوَرَقَ ؟

أحيانًا ، نَظْهَرُ الْأَجْسَامَ الْعَادِيَّةَ قُوَى غَيْرَ عَادِيَّةٍ : فَقَضِيبُ مِنَ الْبِلَاسْتِكِ يُمْكِنُهُ جَذْبُ الْوَرَقِ مِثْلُ جَذْبِ الْمَغْنَاطِيسِ لِلْحَدِيدِ ، أَوْ الْتِصَاقِ الرَّغَوِيَّاتِ الْجَامِدَةِ بِالْأَشْيَاءِ . وَهَذِهِ الْمُشَاهَدَاتُ تَحْدُثُ بِسَبَبِ الْكَهْرَبِيَّةِ الْإِسْتَاتِيكِيَّةِ . وَتَنْشُجُ هَذِهِ الْكَهْرَبِيَّةُ مِنَ التَّفَاعُلِ بَيْنَ الدَّقَائِقِ الْمَشْحُونَةِ ، الْإِلِكْتُرُونَاتِ السَّالِبَةِ وَالْبُرُوثُونَاتِ الْمُوجِبَةِ . وَعَادَةً ، تَكُونُ الْأَجْسَامُ فِي حَالَةِ اتِّزَانٍ كَهْرَبِيٍّ ، لِأَنَّهَا تَتَكَوَّنُ مِنْ عَدَدٍ مُتَسَاوٍ مِنَ الدَّقَائِقِ الْمُوجِبَةِ وَالسَّالِبَةِ الْمُوَزَّعَةِ

بِإِنْتِظَامٍ . فَإِذَا فَقَدَتِ الدَّرَةُ أَوْ اكْتَسَبَتِ الْكِلْتُرُونَاتِ ، فَإِنَّ هَذِهِ الْأَجْسَامَ الْمُتَعَادِلَةَ تُصْبِحُ مُوجِبَةً أَوْ سَالِبَةً الشَّحْنَةِ . وَتُشْحَنُ الْأَجْسَامُ بِالْاِخْتِكَاكِ أَوْ الدَّلْكِ ، وَهَذَا يَسْلُبُ الْكِلْتُرُونَاتِ مِنْ بَعْضِ الْمَوَادِّ ، فَيَتْرُكُهَا مُوجِبَةً الشَّحْنَةِ . فَمَثَلًا ، عِنْدَ ذَلِكَ قَضِيبِ مِنَ الْبِلَاسْتِكِ بِقِطْعَةٍ فَرَوِ ، تَنْتَقِلُ الْكِلْتُرُونَاتُ مِنَ الْفَرَوِ إِلَى الْبِلَاسْتِكِ . وَيُصْبِحُ الْبِلَاسْتِكُ سَالِبَ الشَّحْنَةِ ، وَالْفَرَوُ مُوجِبَ الشَّحْنَةِ . فَإِذَا قُرِبَ قَضِيبُ الْبِلَاسْتِكِ الْمَشْحُونُ إِلَى قِصَاصَاتِ وَرَقٍ مُتَعَادِلَةٍ كَهْرَبِيًّا ، فَإِنَّ الْوَرَقَ يَلْتَصِقُ بِالْبِلَاسْتِكِ . وَسَبَبُ هَذَا التَّجَادُبِ وَجُودُ شِخْنَةٍ سَالِبَةٍ عَلَى قَضِيبِ الْبِلَاسْتِكِ .

قَاعِدَةٌ كَهْرَبِيَّةٌ أَسَاسِيَّةٌ

يَنْصُ قَانُونُ أُسَاسِيٌّ فِي الْكَهْرَبِيَّةِ عَلَى أَنَّ الشَّحْنَاتِ الْمُخْتَلِفَةَ (+) (-) تَتَجَادَبُ ، وَالشَّحْنَاتِ الْمُتَمَاثِلَةَ (+ + أَوْ - -) تَتَنَافَرُ . وَتَتَوَقَّفُ قُوَّةُ التَّجَادُبِ أَوْ التَّنَافُرِ عَلَى الْمَسَافَةِ : فَتَزْدَادُ الْقُوَّةُ كُلَّمَا قَلَّتِ الْمَسَافَةُ بَيْنَ الشَّحْنَتَيْنِ .



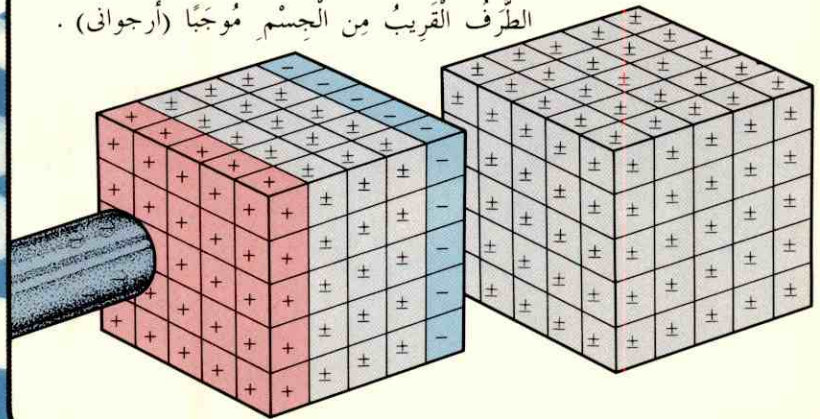
تَجَادُبٌ بَيْنَ شِخْنَاتٍ كَهْرَبِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ



تَنَافَرٌ بَيْنَ شِخْنَاتٍ كَهْرَبِيَّةٍ مُتَمَاثِلَةٍ

شَحْنٌ بِدُونِ لَمَسٍ (بِالْتَأَثِيرِ)

إِذَا قُرِبَ قَضِيبُ سَالِبِ الشَّحْنَةِ مِنْ جِسْمٍ مُتَعَادِلٍ ، فَإِنَّ الشَّحْنَةَ سَوْفَ تَطْرُدُ الْإِلِكْتُرُونَاتِ السَّالِبَةَ فِي هَذَا الْجِسْمِ إِلَى الطَّرَفِ الْبَعِيدِ (أَزْرَقَ -) وَيُصْبِحُ الطَّرَفُ الْقَرِيبُ مِنَ الْجِسْمِ مُوجِبًا (أَرْجَوَانِي) .



قَضِيبٌ بِلَاسْتِكْ

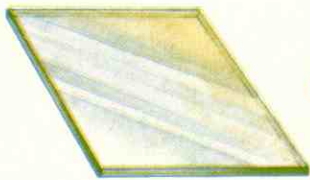
سِحْرُ الْاِخْتِكَاكِ
الْاِخْتِكَاكُ النَّاتِجُ عَنْ ذَلِكَ قَضِيبٍ
مِنَ الْبِلَاسْتِكِ بِالْفَرُو، يُكْسِبُ
القَضِيبَ الْكُتْرُونَاتِ (-) فَيَصْبِحُ
سَالِبَ الشَّحْنَةِ (أَعْلَى). فَيَلْتَصِقُ
الْوَرَقُ بِالْقَضِيبِ (أَقْصَى يَمِينِ).

قَرُو

تَحْدِيدُ الشَّحْنَةِ

بِالنَّوَةِ الْمُوجِبَةِ (+). وَعِنْدَمَا تُدَلِّكُ مَادَّتَانِ مَعًا، مِثْلُ الْفَرُو
وَالْبِلَاسْتِكِ، فَالْأَكْثَرُ الْكُتْرُونَاتِ حُرَّةً، وَهُوَ الْفَرُو، يُعْطَى هَذِهِ
الْإِلِكْتْرُونَاتِ لِلْبِلَاسْتِكِ، فَيَصْبِحُ الْفَرُو مُوجِبَ الشَّحْنَةِ.

تُوجَدُ فِي مَوَادِّ مُعَيَّنَةٍ الْكُتْرُونَاتِ حُرَّةً كَثِيرَةً تَرْتَبِطُ اِرْتِبَاطًا ضَعِيفًا
بِذَرَاتِهَا (-) وَفِي مَوَادِّ أُخْرَى تَرْتَبِطُ الْإِلِكْتْرُونَاتُ اِرْتِبَاطًا وَثِيقًا



زجاج



كريستال



ريش



قَرُو

+



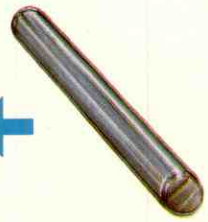
خشب



بِلَاسْتِكْ



رِغْوَى جَامِد



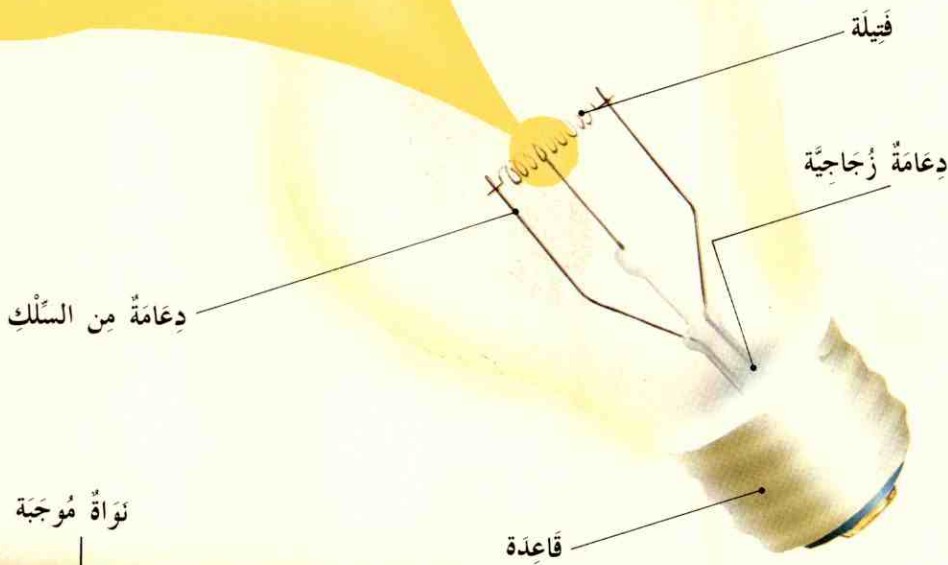
مَعْدِن

-

كَيْفَ يَتَوَهَّجُ الْمِصْبَاحُ الْكَهْرَبِيُّ ؟

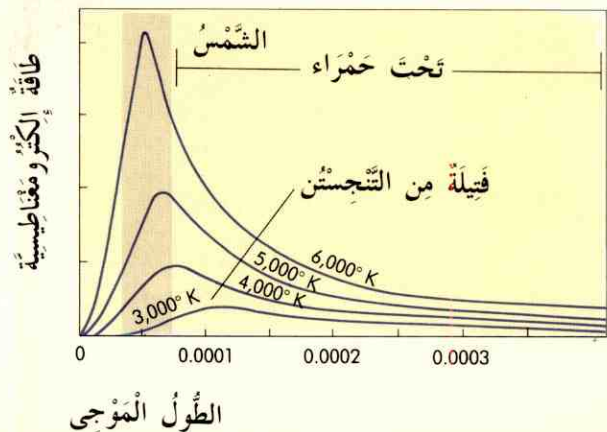
الْكَهْرَبِيَّةُ الَّتِي تُضِيءُ الْمِصَابِيحَ وَالَّتِي تُشْعَلُ التِّلِفِزِيُونَاتِ وَالْأَجْهَزَةُ الْمَنْزِلِيَّةُ ، تَتَكُونُ مِنْ سَيْلٍ الْكُتْرُونَاتِ أَوْ تَيَّارٍ كَهْرَبِيٍّ . وَعِنْدَمَا يُسْتَحَثُّ الْكُتْرُونُ حُرٌّ لِيَتَحَرَّكَ ، فَسَوْفَ يَصْطَدِّمُ بِذَرَّةٍ ، وَيُثِيرُهَا ، أَيْ يُعْطِيهَا بَعْضَ طَاقَتِهِ . وَتَحَرُّرُ الذَّرَّةِ هَذِهِ الطَّاقَةُ عَلَى صُورَةِ إِشْعَاعٍ كَهْرُومَغْنَاطِيْسِيٍّ ، وَتَدْفَعُ الْكُتْرُونَاتِ أُخْرَى لِلْعَمَلِ . وَعِنْدَمَا تَنْسَابُ الْإِلِكُتْرُونَاتُ فِي الْفَتِيلَةِ الْمَعْدِنِيَّةِ لِمِصْبَاحٍ مُتَوَهِّجٍ ، فَإِنَّ تَسْخِينَ الْفَتِيلَةِ يَجْعَلُهَا تُطْلِقُ إِشْعَاعًا كَهْرُومَغْنَاطِيْسِيًّا وَتَتَوَهَّجُ بِضَوْءٍ أَيْضًا .

وَفِي مِصَابِيحِ الْفَلُورِسَنْتِ (أَقْصَى يَسَارَ) ، يَسْرِي تَيَّارٌ خِلَالَ غَازٍ بَدَلًا مِنْ الْفَتِيلَةِ . فَيُطْلَقُ الْغَازُ طَاقَةً فَوْقَ بَنْفَسَجِيَّةٍ ، يُثِيرُ الْغِلَافَ الدَّاخِلِيَّ الْفُوسْفُورِيَّ لِلْأَنْبُوبِ ، وَيَحْدُثُ تَفَاعُلٌ مُتَسَلْسِلٌ يُحَرِّرُ إِشْعَاعًا كَهْرُومَغْنَاطِيْسِيًّا عَلَى صُورَةِ ضَوْءٍ مَرْنِيٍّ .



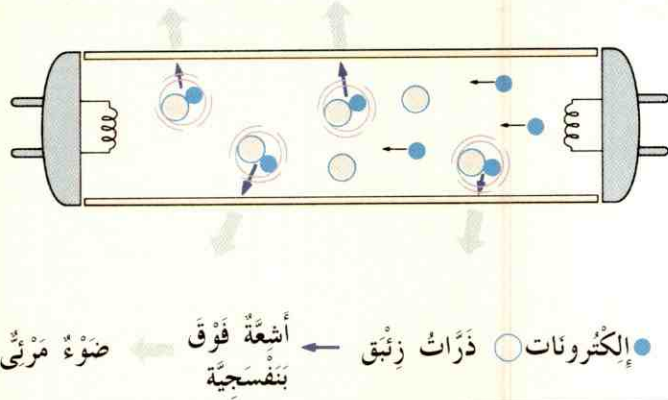
الطُّولُ الْمَوْجِي الَّذِي تَبْعَثُ عَنْدَهُ الْأَجْسَامُ السَّاخِنَةُ الْإِشْعَاعَ ، يَتَوَقَّفُ بِدَرَجَةِ كَبِيرَةٍ عَلَى دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْجِسْمِ . فَالشَّمْسُ عِنْدَ ٥٦٠٠٠ كِلْفَن (ك) تَبْعَثُ مُعْظَمَ إِشْعَاعِهَا كَضَوْءٍ مَرْنِيٍّ . بَيْنَمَا فَتِيلَةُ الْمِصْبَاحِ الْمُتَوَهِّجِ ١٠٠ وَات ، عِنْدَ ٥٣٠٠٠ ك ، تُطْلِقُ مُعْظَمَ إِشْعَاعِهَا فِي الْمِنْطَقَةِ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ ، وَالْقَلِيلُ فِي الْمِنْطَقَةِ الْمَرْنِيَّةِ .

ضَوْءٌ مَرْنِيٌّ فَوْقَ بَنْفَسَجِيٍّ



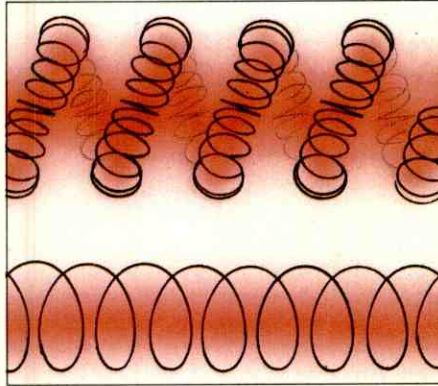
ضوء الفلورسنت من غاز

يَعْتَمِدُ مِصْبَاحُ الْفُلُورِسَنْتِ عَلَى الْإِلِكْتُرُونَاتِ ، وَالْغَازِ ، وَمَادَّةٍ كِيمِيَائِيَّةٍ هِيَ الْفُوسْفُورُ لِإِنتَاجِ الضَّوِّ . وَدَاخِلَ الْأَنْبُوبِ الرُّجَاجِيُّ ، تَصْطَلِدُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ السَّارِيَةُ بِذَرَاتِ الْغَازِ ، فَتَنْشِطُهَا . وَهَذِهِ الْإِلِكْتُرُونَاتُ الْمُثَارَةُ تُحَرِّرُ أَشْعَةً فَوْقَ بَنْفَسَجِيَّةٍ غَيْرِ مَرْتَبِيَّةٍ ، تَصْطَلِدُ بِالْغِلَافِ الْفُوسْفُورِيِّ الدَّاخِلِيِّ لِلْأَنْبُوبِ . وَيَمْتَصُّ الْفُوسْفُورُ هَذِهِ الْأَشْعَةَ ، وَيُعِيدُ إِشْعَاعَهَا كَضَوْءٍ مَرْتَبِيٍّ .



الفتيل المدهش

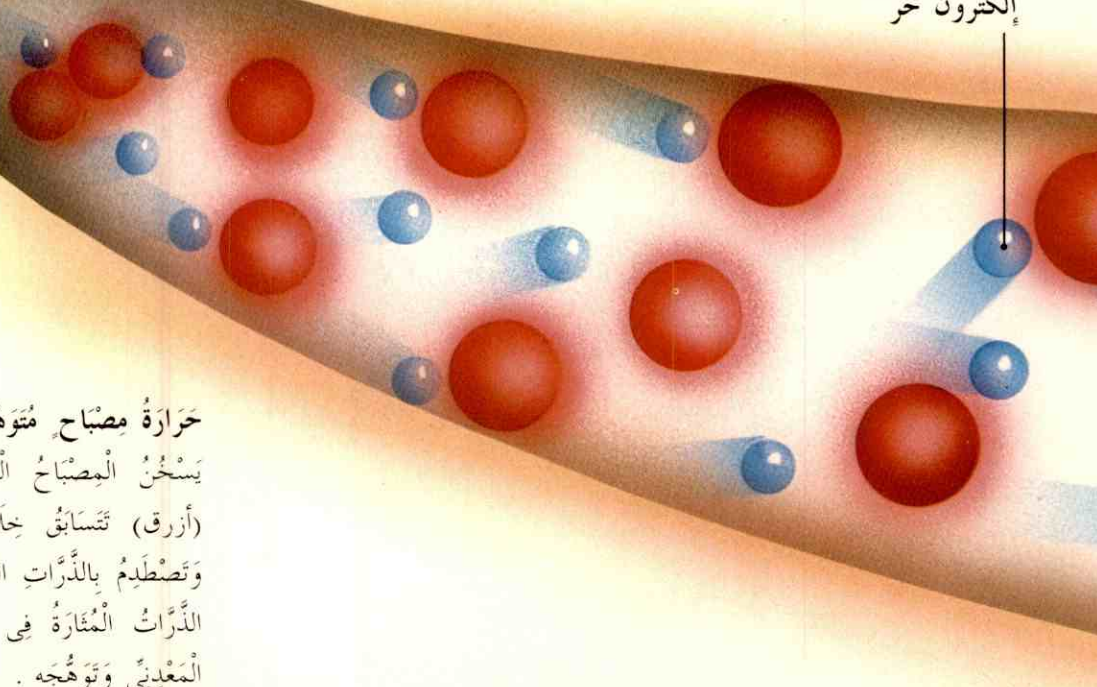
تُسَخَّنُ الْكَهْرَبِيَّةُ الْفَتِيلَ — وَهُوَ مَلْفٌ سَلْكٍ دَاخِلُ مِصْبَاحٍ مُتَوَهِّجٍ — حَتَّى ٣٠٠٠ ك (٥٥٠٠٠ ف). وَيَتَحَمَّلُ هَذَا السَّلْكُ الرَّفِيعُ الْحَرَارَةَ لِأَنَّهُ مَصْنُوعٌ مِنَ التَّنَجِسْتِنِ ، وَهُوَ فِلِزٌّ دَرَجَةُ انصِهَارِهِ عَالِيَةٌ .



إِلِكْتُرُون حُرٌّ

حَرَارَةُ مِصْبَاحٍ مُتَوَهِّجٍ

يَسَخَّنُ الْمِصْبَاحُ الْمُتَوَهِّجُ لِأَنَّ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الْحُرَّةَ (أَزْرَقَ) تَتَسَابَقُ خِلَالَ الْفَتِيلِ الْمَعْدِنِيِّ (الْأَنْبُوبِ) وَتَصْطَلِدُ بِالذَّرَاتِ السَّاكِنَةِ (أَحْمَرَ) فِي طَرِيقِهَا . فَتَبْدَأُ الذَّرَاتُ الْمُثَارَةُ فِي الْاهْتِرَازِ ، مَسْبَبَةً سُخُونَةَ الْفَتِيلِ الْمَعْدِنِيِّ وَتَوَهُّجَهُ .



كَيْفَ تَعْمَلُ الْكَهْرَبِيَّةُ ؟

تِيَارَاتُ كَهْرَبِيَّةٍ وَمَائِيَّةٍ

الْخِفَاضُ
جُهْدُ

مَسَارُ الْمَاءِ

جُهْدُ الْبَطَّارِيَّةِ

مَسَارُ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ

إِلِكْتُرُون

يُمْكِنُ تَصَوُّرُ الْكَهْرَبِيَّةِ كَأَنَّهَا مَاءٌ سَارٍ فِي أَنْبُوبٍ (أَعْلَى).
وَالْبَطَّارِيَّةُ كَأَنَّهَا مِضْحَةُ الْمَاءِ ، وَالتِّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ كَأَنَّهُ
حَجْمُ الْمَاءِ . وَيُمَثِّلُ مُقَاوِمَتِي الدَّائِرَةِ — وَهُمَا الْمِصْبَاحَانِ —
كُتْلَتَانِ مُنْزَلَتَانِ فِي مَسَارِ الْمَاءِ .
وَفِي هَذَا النَّمُودَجِ ، فِي كُلِّ مَرَّةٍ يَصْطَدِمُ الْمَاءُ
(الْكَهْرَبِيَّةُ) بِالْمُنْزَلَةِ (المقاومة) ، فَإِنَّهُ يَنْحَفِضُ إِلَى مُسْتَوًى
أَقْلَ (جهد أقل). وَيَظِلُّ حَجْمُ الْمَاءِ (التيار) ثَابِتًا ، وَلَكِنَّ
ارْتِفَاعَهُ (القدرة) يَقِلُّ . وَهَكَذَا بِالنَّسْبَةِ لِلتِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ .
فَعِنْدَمَا يَمُرُّ التِّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ خِلَالَ مُقَاوِمَةٍ ، فَإِنَّ بَعْضَ
طَاقَتِهِ يَتَبَدَّدُ ، وَيَقِلُّ جُهْدُهُ (الفولت) .

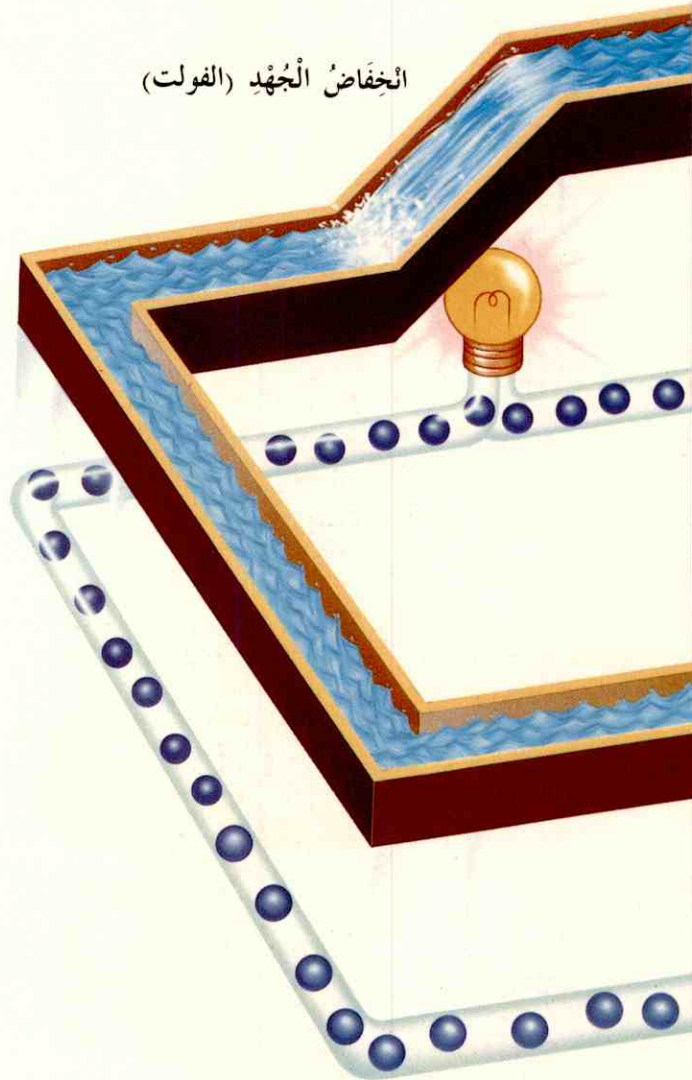
يَسْتَطِيعُ التِّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ أَنْ يُشْعَلَ الْأَلَاتِ فَقَطْ عِنْدَمَا يَمُرُّ
فِي دَائِرَةِ كَهْرَبِيَّةٍ . وَالدَّائِرَةُ الْكَهْرَبِيَّةُ هِيَ قَنَاةٌ تَتَحَرَّكُ فِيهَا
الْكَهْرَبِيَّةُ . وَمَصْدَرُهَا هُوَ مَصْدَرُ الْقُدْرَةِ مِثْلُ بَطَّارِيَّةٍ يُوصَلُ
بِهَا الْجِهَازُ — مِصْبَاحٌ مَثَلًا — بِسِلْكٍ تَوْصِيلٍ . وَلَا تَنْتَهِي
الدَّائِرَةُ الْكَهْرَبِيَّةُ فِي الْجِهَازِ ، وَلَكِنَّهَا تَعُودُ ثَانِيَةً إِلَى
مَصْدَرِ الْقُدْرَةِ . وَالْقُوَّةُ الَّتِي تُحْفَظُ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ سَارِيًا
فِي دَائِرَةٍ تُعْرَفُ بِالْقُوَّةِ الدَّافِعَةِ الْكَهْرَبِيَّةِ أَوْ الْجُهْدِ . وَلِأَنَّ
الْأَجْهَازَ تُعْطَلُ تِيَّارُ الدَّائِرَةِ الْكَهْرَبِيَّةِ ، فَهِيَ تُسَمَّى
مُقَاوِمَاتٍ .

وَلِنَهْمِ الْعِلَاقَةِ بَيْنَ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ وَالْجُهْدِ وَالْمُقَاوِمَةِ

حِسَابُ انْخِفَاضِ الْجُهِدِ

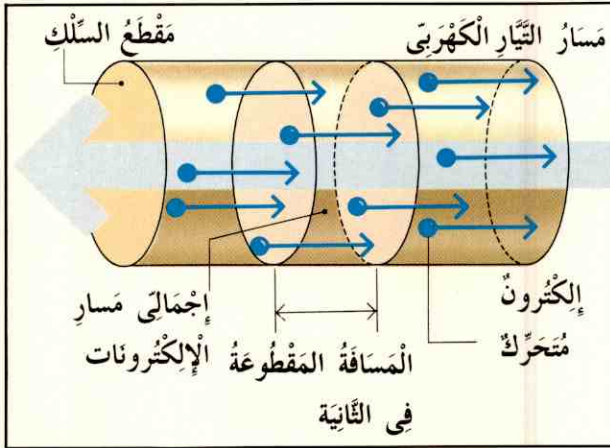
عِنْدَمَا يَمُرُّ تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ فِي مَقَاوِمَةٍ مِثْلٍ مِصْبَاحٍ كَهْرَبِيٍّ ، فَإِنَّ الضَّغْطَ (أَوِ الْفُولْتَ) عَلَى التِّيَّارِ يَقِلُّ . وَمِقْدَارُ النِّقْصِ يُسَمَّى انْخِفَاضَ الْجُهِدِ . وَيُمْكِنُ حِسَابُ مِقْدَارِ انْخِفَاضِ الْجُهِدِ رِيَاضِيًّا بِضَرْبِ : مِقْدَارِ الْمَقَاوِمَةِ $\times$ مِقْدَارِ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ .

انْخِفَاضُ الْجُهِدِ (الْفُولْتَ)



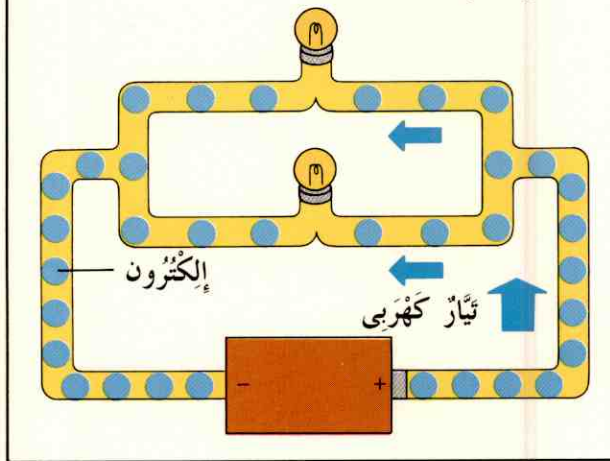
التِّيَّارُ وَسَرَيَانُ الْإِلِكْتُرُونَاتِ

تَتَحَرَّكُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ (كِرَاتٍ زُرْقَاء) نَحْوَ الْقُطْبِ الْمُوْجِبِ لِمَصْدَرِ الْقُدْرَةِ ، فَيَمُرُّ تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ مِنَ الْقُطْبِ الْمُوْجِبِ إِلَى الْقُطْبِ السَّالِبِ (السَّهْمِ الْأَزْرَقِ الْكَبِيرِ) . وَيَتَوَقَّفُ مِقْدَارُ التِّيَّارِ الْمَارِّ عَلَى عَدَدِ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الَّتِي تُعْبَرُ الْمَقْطَعِ فِي زَمَنِ مُحَدَّدٍ .

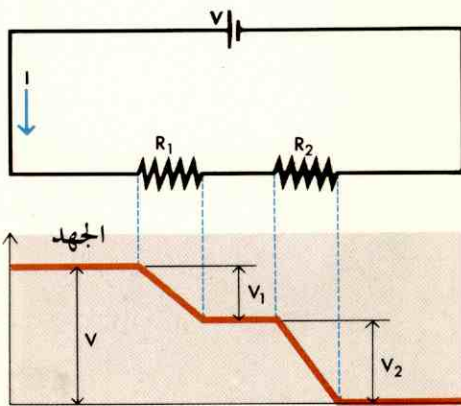


تَتَبُّعُ دَائِرَةِ عَلَى التَّوْازِي

فِي الدَّائِرَةِ الْمُوصَلَةِ عَلَى التَّوْازِي ، يَمُرُّ التِّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ (أَسْهَمِ زُرْقَاء) فِي مَسَارَيْنِ مُتَفَصِّلَيْنِ قَبْلَ أَنْ يَعودَ إِلَى مَصْدَرِ التِّيَّارِ (بَطَارِيَةِ حَمْرَاء) .

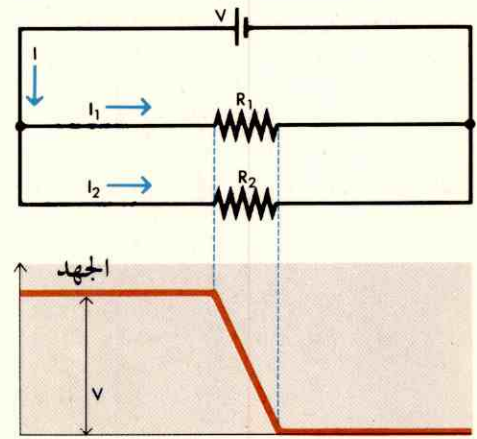


الدَّوَائِرُ وَالْجُهِدُ



دَائِرَةُ التَّوْازِي (يسار) بِهَا مَقَاوِمَتَانِ (R) تَعْمَلَانِ عَلَى التَّتَابُعِ عَلَى خَفْضِ الْجُهِدِ (V) وَانْخِفَاضِ الْجُهِدِ فِي الدَّائِرَةِ هُوَ مَجْمُوعُ هَذَيْنِ الْانْخِفَاضَيْنِ .

فِي دَائِرَةِ التَّوْازِي (يمين) يَمُرُّ التِّيَّارُ فِي مَسَارَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ . وَمَوَاضِعُ الْمَقَاوِمَاتِ (R) تَجْعَلُهَا تُحْدِثُ انْخِفَاضًا وَاحِدًا فِي الْجُهِدِ فِي نَفْسِ الْوَقْتِ (I هِيَ شِدَّةُ التِّيَّارِ) .



كَيْفَ تَقَاسُ الْكَهْرَبِيَّةُ ؟

دَاخِلُ أَمِيْتَرٍ

إِثْرَةٌ

تَدْرِيجٌ

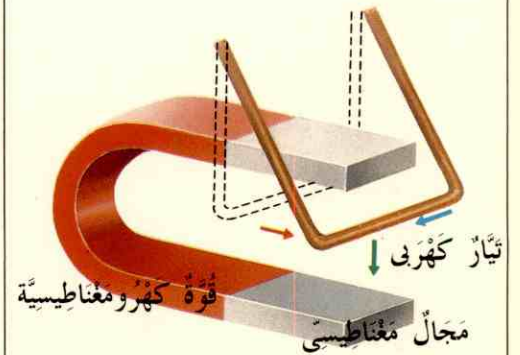
زُنْبُرُكٌ

مَلْفٌ حَامِلٌ لِلتَّيَّارِ

لِأَنَّ الْكَهْرَبِيَّةَ غَيْرُ مَرئيةٍ ، فَقَدِ ابْتَكَرَ الْعُلَمَاءُ طَرِيقًا بَارِعَةً لِقِيَاسِهَا . وَأَخَذَهَا بِاسْتِحْدَامِ جِلْفَانُومِتَرٍ (يسار) ، يَتَرَكَّبُ مِنْ مَلْفٍ مِنْ سِلْكٍ رَفِيعٍ يَمُرُّ بِهِ التَّيَّارُ ، مَوْضُوعٌ بَيْنَ قُطْبَيْ مَغْنَاطِيْسٍ دَائِمٍ . وَعِنْدَ مُرُورِ التَّيَّارِ فِي الْمَلْفِ ، يُولَّدُ التَّيَّارُ قُوَّةٌ كَهْرُومَغْنَاطِيْسِيَّةٌ كَافِيَةٌ لِتَحْرِيكِ الْمَلْفِ بَيْنَ الْقُطْبَيْنِ . وَيَقِيسُ الْجِلْفَانُومِتَرُ مِقْدَارَ التَّيَّارِ الْمَارِّ فِي الدَّائِرَةِ عَنْ طَرِيقِ مِقْدَارِ انْحِرَافِ الْمَلْفِ . وَالْأَمِيْتَرُ يَسْتَحْدِمُ هَذَا الْمَفْهُومَ مَعَ إِضَافَةِ إِثْرَةٍ وَتَدْرِيجٍ يُبَيِّنُ مُعَدَّلَ سَرِيَانِ التَّيَّارِ بِالْأَمِيْر . وَإِذَا أُضِيفَتْ إِلَيْهِ مُقَاوِمَةٌ ، يُصْبِحُ هَذَا الْجِهَازُ فُولْتَمِيْتَرٌ ، يَقِيسُ مِقْدَارَ انْخِفَاضِ الْجُهْدِ (بِالْفُولْت) وَهُوَ الْقُوَّةُ الَّتِي تَدْفَعُ التَّيَّارَ لِلْمُرُورِ فِي الدَّائِرَةِ .

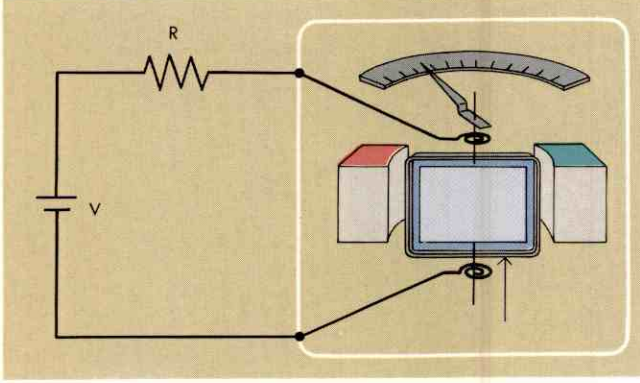
قَاعِدَةُ الْيَدِ الْيُمْنَى

إِذَا وُضِعَ سِلْكٌ حَامِلٌ لِلتَّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ فِي الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ لِمَغْنَاطِيْسٍ دَائِمٍ ، فَإِنَّ مُحْصَلَةَ طَاقَةِ التَّيَّارِ وَالْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ تُولَّدُ قُوَّةٌ كَهْرُومَغْنَاطِيْسِيَّةٌ كَافِيَةٌ لِتَحْرِيكِ السِّلْكِ . وَلِتَذَكَّرَ الْعِلَاقَةُ بَيْنَ اتِّجَاهَاتِ التَّيَّارِ ، وَالْقُوَّةِ وَالْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ ، وَضِعَتْ قَاعِدَةٌ فِيزِيَاءِيَّةٌ سَهْلَةٌ التَّذَكُّرِ تُسَمَّى قَاعِدَةُ الْيَدِ الْيُمْنَى . بِمَدِّ إِبْهَامِ الْيَدِ الْيُمْنَى لِتُشِيرَ إِلَى اتِّجَاهِ سَرِيَانِ التَّيَّارِ ، وَالْأَصَابِعُ لِتُشِيرَ إِلَى اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ الْخَارِجِيِّ ، وَيَكُونُ بَاطِنُ الْكَفِّ مُتَّجِهًا لِاتِّجَاهِ الْقُوَّةِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيْسِيَّةِ .



كَيْفَ يَعْمَلُ الْأَمِيتَرُ

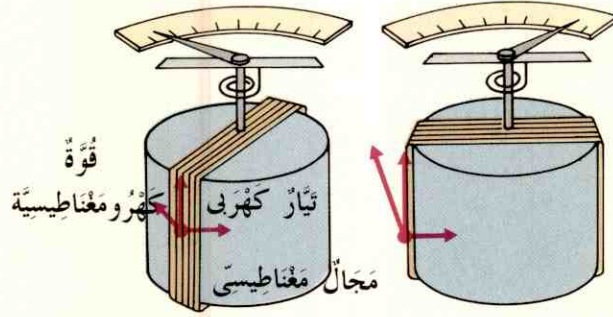
يَوْضَعُ أَمِيتَرٌ فِي دَائِرَةِ كَهْرَبِيَّةٍ ، فَإِنَّ التَّيَّارَ الْكَهْرَبِيَّ يُؤَلِّدُ قُوَّةَ كَهْرُومَغْنَاطِيَّةٍ تُحَوِّلُ مِلْفَ الْجِهَازِ إِلَى قَضِيبٍ مَغْنَاطِيْسِيٍّ . وَيَعْمَلُ الْمَغْنَاطِيْسُ الدَّائِمُ (أَرْجَوَانِي/أَخْضَرُ) عَلَى أَنْ يَتَّجِهَ الْقُطْبُ الشَّمَالِي لِهَذَا الْقَضِيبِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ جِهَةَ الْقُطْبِ الْجَنُوبِيِّ لِلْمَغْنَاطِيْسِ الدَّائِمِ . وَيُحَدِّدُ الْمُؤَشِّرُ شِدَّةَ التَّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ .



أَمِيتَرُ

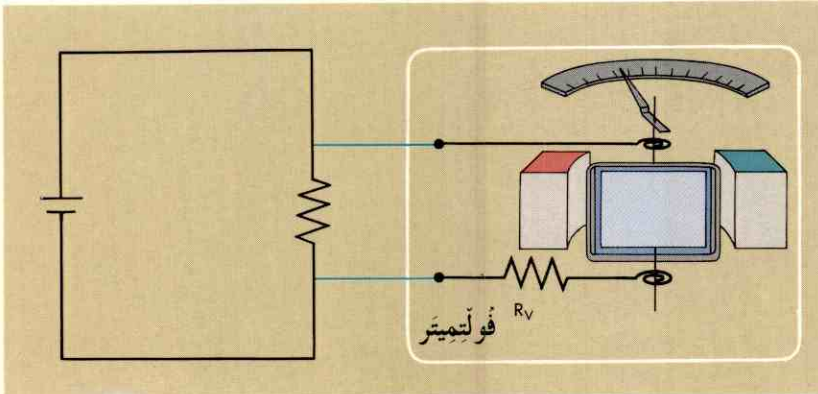
قِيَاسُ شِدَّةِ التَّيَّارِ

الْقُوَّةُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ الْمُتَوَلَّدَةُ فِي مِلْفِ الْأَمِيتَرِ ، تُؤَثِّرُ عَمُودِيًّا عَلَى الْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ لِلْمَغْنَاطِيْسِ الدَّائِمِ . وَبِمَا أَنَّ شِدَّةَ التَّيَّارِ تُحَدِّدُ مِقْدَارَ الْقُوَّةِ الْمَغْنَاطِيَّةِ الَّتِي تُسَبِّبُ انْحِرَافَ الْمُؤَشِّرِ ، فَإِنَّ الْأَمِيتَرَ يُمَكِّنُهُ قِيَاسُ شِدَّةِ التَّيَّارِ . وَتَزْدَادُ قِرَآئَتُهُ (أَقْصَى يَسَارَ) بِإِزْدِيَادِ شِدَّةِ التَّيَّارِ .



تُحَوِّلُ الْأَمِيتَرُ إِلَى فُولْتَمِيتَرٍ

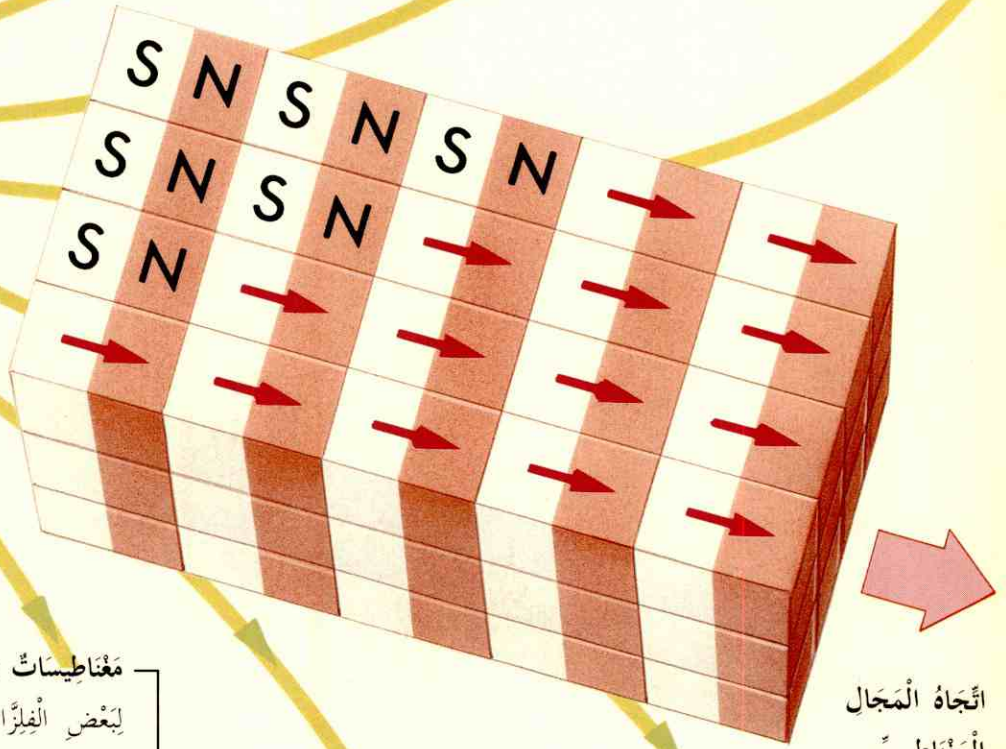
إِذَا وُصِّلَ الْأَمِيتَرُ بِمُقَاوِمَةٍ (R_V) تَعْمَلُ عَلَى إِبطَاءِ سَرِّيَانِ الْكَهْرَبِيَّةِ ، ثُمَّ أُدْخِلَ فِي دَائِرَةِ كَهْرَبِيَّةٍ ، فَإِنَّ الْجِهَازَ يَمِيزُ جُهْدَ الدَّائِرَةِ الْكَهْرَبِيَّةِ . وَالْجُهْدُ يَدُلُّ عَلَى مِقْدَارِ الْقُوَّةِ الَّتِي تُحَرِّكُ التَّيَّارَ فِي الدَّائِرَةِ .



لماذا يجذب المغناطيس الحديد ؟

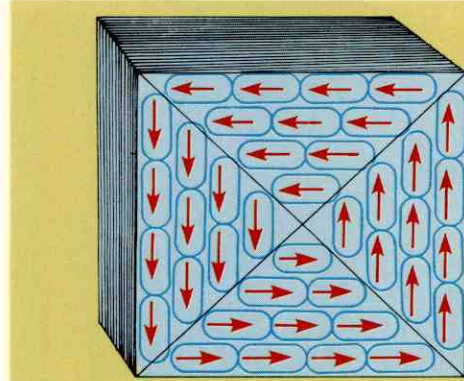
خُطوطُ القُوَى (خضراء) - وَهِيَ مَنَاطِقُ المَغْنَطِيسِيَّةِ المُرَكَّزَةُ - مِنَ القُطْبِ الشَّمَالِيِّ لِلْمَغْنَطِيسِ إِلَى قُطْبِهِ الجَنُوبِيِّ . وَيُعْرَفُ هَذَا بِاتِّجَاهِ المَجَالِ . وَالْقُطْبُ الشَّمَالِيُّ لِلْمَغْنَطِيسِ يَجْدِبُ قُطْبًا جَنُوبِيًّا ، بَيْنَمَا يَتَنَافَرُ القُطْبَانِ المَتَمَاثِلَانِ . وَتَجْدِبُ المَغْنَطِيسَاتُ فِلَزَاتِ مُعَيَّنَةٍ تُسَمَّى مَوَادَّ حَدِيدٍ وَمَغْنَطِيسِيَّةٍ مِثْلَ الحَدِيدِ وَالتِّكَلِ وَالْكُوبَلِتِ . وَرَغْمَ أَنَّ هَذِهِ المَوَادَّ لَيْسَتْ مَغْنَطِيسَاتٍ طَبِيعِيَّةً ، إِلَّا أَنَّهَا إِذَا وُضِعَتْ بِالقُرْبِ مِنْ مَغْنَطِيسٍ ، فَإِنَّ ذَرَاتَهَا تُعِيدُ تَرْتِيبَ نَفْسِهَا بِحَيْثُ يَتَكُونُ لِلْمَادَّةِ أَقْطَابُ مَغْنَطِيسِيَّةٍ .

يَجْدِبُ المَغْنَطِيسُ أَجْسَامًا مِنْ مَعَادِنَ مُعَيَّنَةٍ ، كَأَنَّهُ السَّحَرُ . وَيَرْجِعُ ذَلِكَ إِلَى الطَّرِيقَةِ الْخَاصَّةِ لِسُلُوكِ الْكَثْرَوَاتِهِ . وَمَادَامَ أَنَّ الْكَثْرُونَ يَدُورُونَ حَوْلَ ذَرَّةٍ يُوَلَّدُ مَجَالًا مَغْنَطِيسِيًّا ، فَإِنَّ جَمِيعَ الذَّرَاتِ تُعْتَبَرُ مَغْنَطِيسِيَّاتٍ دَقِيقَةً . وَلَكِنْ فِي مُعْظَمِ المَوَادِّ ، فَإِنَّ التَّأثيرَاتِ المَغْنَطِيسِيَّةَ العُشْوَانِيَّةَ لِلذَّرَاتِ يُلغِي بَعْضُهَا البَعْضَ . وَلَكِنْ فِي المَغْنَطِيسَاتِ ، يَتَرْتَّبُ المَجَالُ المَغْنَطِيسِيُّ لِلذَّرَاتِ بِطَرِيقَةٍ تُوَلَّدُ مَنَاطِقَ تُسَمَّى حُقُولًا . وَهَذِهِ الحُقُولُ لَهَا قُطْبُ شَمَالِيٌّ (N) وَقُطْبُ جَنُوبِيٌّ (S) . وَتَتَجَهَّ

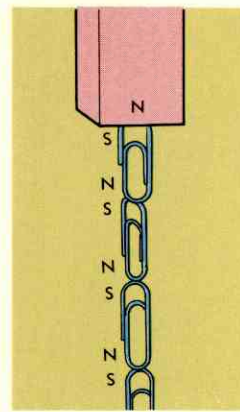


مَغْنَطِيسَاتٌ دَقِيقَةٌ لَا تُحْصَى

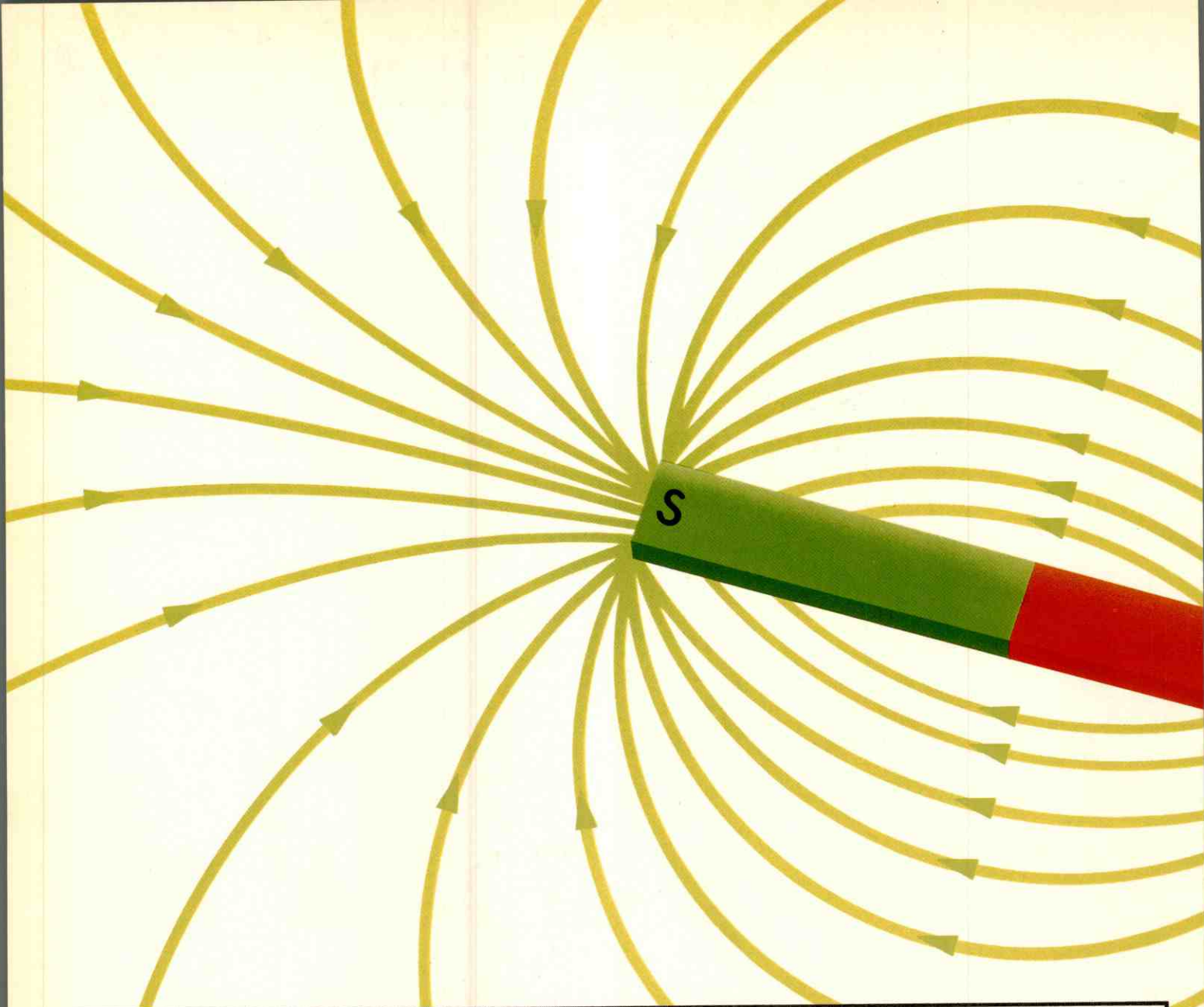
لِبَعْضِ الفِلَزَاتِ تَرْتِيبُ الذَّرَاتِ المُتَجَمِّعَةِ فِي حُقُولٍ مَغْنَطِيسِيَّةٍ . وَعَادَةً تُشِيرُ أَقْطَابُ الحُقُولِ المَغْنَطِيسِيَّةِ فِي اتِّجَاهَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ (أَسْهُمَ حَمراء)، وَلَا تَعْمَلُ كَأَنَّهَا مَغْنَطِيسَاتٌ .



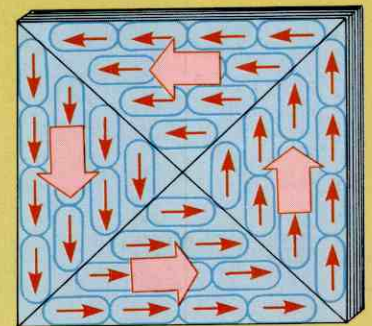
سِلْسِلَةٌ مَغْنَطِيسِيَّةٌ



الْمَشَابِكُ المَعْدِنِيَّةُ لِلوَرَقِ المَلَامِسَةُ لِلْمَغْنَطِيسِ ، يَتَكُونُ لِكُلِّ مِنْهَا قُطْبَانِ : شَمَالِيٌّ وَجَنُوبِيٌّ . وَقُطْبَا كُلِّ مِشْبَكٍ يُشِيرَانِ فِي نَفْسِ اتِّجَاهٍ قُطْبِيٍّ المَغْنَطِيسِ . وَبِذَلِكَ أَصْبَحَ كُلُّ مِشْبَكٍ مَغْنَطِيسًا .

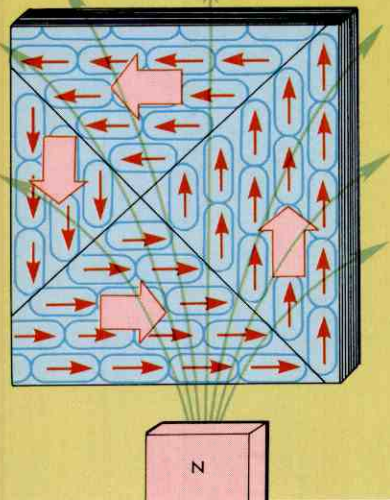


تَكُونُ مَغْنَطِيسٍ دَائِمٍ



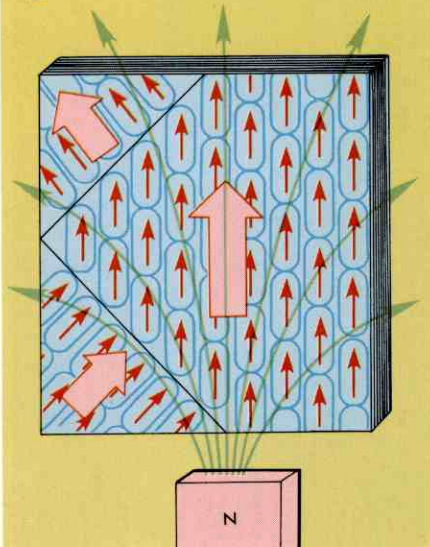
١ - تَتَجَهُّ الْحُقُولُ الْمَغْنَطِيسِيَّةُ
لِلْحَدِيدِ اتِّجَاهًا عَشَوَائِيًّا (أَسْهَمَ
أَرْجَوَانِيَّة). وَهَذَا يُعَادِلُ الْمَغْنَطِيسِيَّةَ
الطَّبِيعِيَّةَ فِي الْفِلِزِّ .

٢ - وَإِذَا قَرَّبَ مِنْهُ مَغْنَطِيسٌ
(أَرْجَوَانِي)، فَإِنَّ الْحُقُولَ الْمَغْنَطِيسِيَّةَ



فِي الْحَدِيدِ تَبْدَأُ فِي التَّرْتِيبِ فِي اتِّجَاهِ
الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيسِيِّ (أَخْضَر) .

٣ - وَسَرْعَانَ مَا تَتَرْتَّبُ مُعْظَمُ
الْحُقُولِ الْمَغْنَطِيسِيَّةِ لِلْحَدِيدِ مَعَ



الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيسِيِّ . ثُمَّ يُصْبِحُ
الْحَدِيدُ مَغْنَطِيسًا دَائِمًا .

كَيْفَ تَصْنَعُ الْكَهْرِبِيَّةَ مَغْنَاطِيْسًا ؟

وَضَعَا قُطْبَيِ الْمَغْنَاطِيْسِ الْكَهْرَبِيِّ وَبِالتَّالِي يَنْعَكِسُ اتِّجَاهُ
خُطُوطِ الْمَجَالِ ، وَلَكِنْ لَا يَتَغَيَّرُ الشَّكْلُ الْإِجْمَالِيُّ
لِلْمَجَالِ الْمَغْنَاطِيْسِيِّ . فَيَبْقَى شَكْلُ خُطُوطِ الْمَجَالِ كَمَا
هُوَ ، مَا لَمْ يَتَغَيَّرْ شَكْلُ السَّلْكِ نَفْسِهِ (أَقْصَى يَسَار) . وَتَعْمَلُ
الْمُوثُورَاتُ وَالْمَوْلَّدَاتُ وَأَنْظَمَةُ كَهْرِبِيَّةٍ أُخْرَى بِوَاسِطَةِ
الْكَهْرُومَغْنَاطِيْسِيَّةِ .

أَدَّى اكْتِشَافُ أَنَّ التِّيَّارَاتِ الْكَهْرِبِيَّةَ تُؤَلِّدُ مَجَالَاتِ
مَغْنَاطِيْسِيَّةٍ إِلَى تَمَكُّنِ الْعُلَمَاءِ مِنْ إِتْجَاحِ مَغْنَاطِيْسٍ تَتَحَكَّمُ
الْكَهْرِبِيَّةُ فِي مَغْنَاطِيْسِيَّتِهِ . وَمِثْلُ هَذِهِ الْمَغْنَاطِيْسَاتِ
الْكَهْرِبِيَّةِ (يَسَار) قَدْ تَتَكَوَّنُ مِنْ مَلَفٍ لَوْلَبِيٍّ مِنَ السَّلْكِ
الْمَغْزُولِ مَلْفُوفٍ حَوْلَ قَلْبٍ مِنْ مَادَّةٍ مَغْنَاطِيْسِيَّةٍ (عَادَةً
حَدِيدٍ) . وَالْمَجَالُ الْمَغْنَاطِيْسِيُّ النَّاتِجُ عَنِ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ
فِي السَّلْكِ يُمْغِنُ الْقَلْبَ الْمَعْدِنِيَّ بِنَفْسِ الطَّرِيقَةِ الَّتِي
يُمْغِنُ بِهَا مَغْنَاطِيْسٌ دَائِمٌ قِطْعَةً مِنَ الْحَدِيدِ (ص ٧٨ —

مَغْنَاطِيْسٌ كَهْرَبِيٌّ

(٧٩) .
وَأَتْنَاءَ مُرُورِ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ فِي السَّلْكِ ، يَعْمَلُ الْمَغْنَاطِيْسُ
الْكَهْرَبِيُّ كَأَنَّهُ مَغْنَاطِيْسٌ دَائِمٌ : فَتَتَكَوَّنُ خُطُوطُ الْمَجَالِ
الْمَغْنَاطِيْسِيِّ مَقْوَسَةً مِنْ قُطْبِهِ الشَّمَالِيِّ إِلَى قُطْبِهِ الْجَنُوبِيِّ
— عَادَةً عَمُودِيَّةً عَلَى اتِّجَاحِ سَرِيَانِ التِّيَّارِ ، وَفَقًّا لِلْقَوَانِينِ
الْكَهْرُومَغْنَاطِيْسِيَّةِ . وَإِذَا غَكِسَ اتِّجَاهُ التِّيَّارِ ، يَتَبَدَّلُ

قَلْبٌ حَدِيدِيٌّ

قِطْعٌ مِنَ الْحَدِيدِ

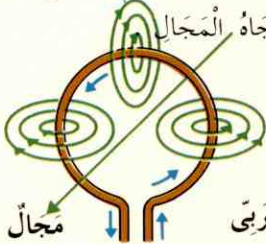
خُطُوطُ مَجَالٍ مَغْنَطِيَّيَّةٍ



تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ

أَشْكَالُ الْمَجَالَاتِ الْمَغْنَطِيَّيَّةِ

تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ مُسْتَقِيمٌ يَسْرِي لِأَعْلَى ، يُكَوِّنُ مَجَالًا مَغْنَطِيَّيًّا بِشَكْلِ حَلَقَاتٍ مُتَّحِدَةٍ الْمُرَكَّزِ فِي عَكْسِ حَرَكَةِ عَقْرَبِي السَّاعَةِ . وَإِذَا عَكَسَ التِّيَّارُ ، يَنْعَكِسُ اتِّجَاهُ الْمَجَالِ

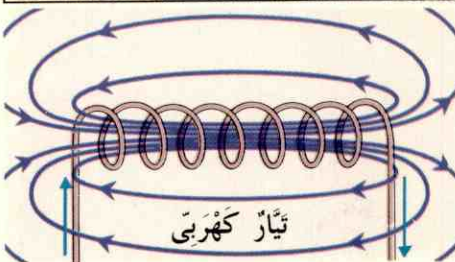
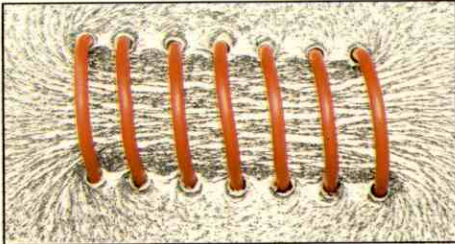


تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ

لَفَّةٌ وَاحِدَةٌ مِنْ مَلَفٍ يَمُرُّ بِهَا تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ فِي اتِّجَاهٍ مُضَادٍّ لِحَرَكَةِ عَقْرَبِي السَّاعَةِ ، يُؤَلِّدُ تَجَنُّهُ مِنْ خِلَالِ تَجْوِيفِ اللَّفَّةِ إِلَى أَعْلَى اللَّفَّةِ

الْمَجَالُ الْمَغْنَطِيَّيُّ لِلْفَاتِ عَدِيدَةٍ

كُلُّ لَفَّةٍ فِي الْمَلَفِ اللَّوْلِيِّ (أَسْفَلِ) الْمَارِّ بِهِ تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ ، تُنْصَرِّفُ مِثْلَ اللَّفَّةِ الْوَاحِدَةِ (أَعْلَى) . وَيَكُونُ الْمَجَالُ الْمَغْنَطِيَّيُّ الْمُحِيطُ بِالْمَلَفِ اللَّوْلِيِّ هُوَ مُحْصَلَةُ الْمَجَالَاتِ الْمَغْنَطِيَّيَّةِ الَّتِي تُؤَلِّدُهَا جَمِيعُ اللَّفَاتِ .



تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ

بَطَّارِيَّةٌ

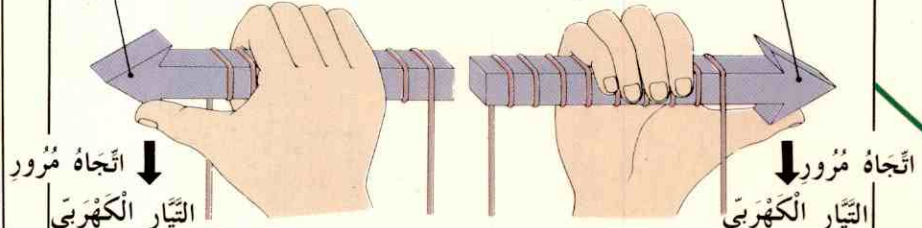
خُطُوطُ مَجَالٍ مَغْنَطِيَّيَّةٍ مُكَوَّنَةٌ دَوَائِرَ ثُمَّ خَلْفَهَا (أَعْلَى) .

تَحْدِيدُ اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيَّيِّ

لِتَحْدِيدِ اتِّجَاهِ خُطُوطِ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيَّيِّ حَوْلَ مَلَفٍ يَمُرُّ بِهِ تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ ، تَحْضِلُ أَنَّكَ تُقْبِضُ عَلَى الْأَسْلَافِ بِيَدِكَ الْيُمْنَى بِحَيْثُ تُشِيرُ إِبْهَامُكَ إِلَى اتِّجَاهِ التِّيَّارِ ، فَيَكُونُ امْتِدَادُ إِبْهَامِكَ مُشِيرًا إِلَى اتِّجَاهِ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيَّيِّ .

اتِّجَاهُ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيَّيِّ

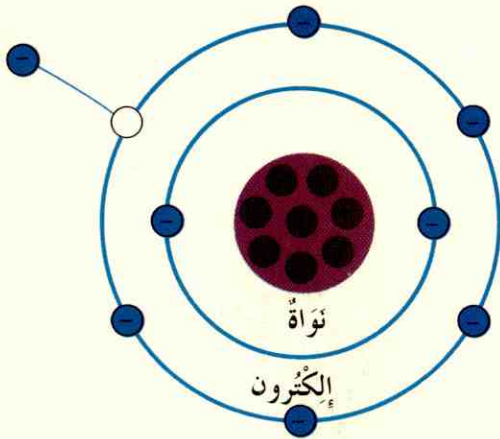
اتِّجَاهُ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيَّيِّ



اتِّجَاهُ مُرُورِ
التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ

اتِّجَاهُ مُرُورِ
التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ

مَاذَا يَسْمَحُ لِلْكَهْرَبَاءِ بِالسَّرِيَانِ ؟



ذَرَاتُ الْمُوصَّلَاتِ بِهَا الْإِلِكْتُرُونُ حُرٌّ أَوْ أَكْثَرُ . وَهَذِهِ الْإِلِكْتُرُونَاتُ لَا تَبْقَى فِي مَدَارَاتِ ثَابِتَةٍ حَوْلَ النَّوَاةِ ، وَلَكِنَّهَا تَزَاوُجُ بِطُيْءٍ خِلَالِ التَّرَكِيبِ الذَّرِّيِّ الْمُحِيطِ بِهَا . وَعِنْدَمَا تَتَحَرَّكُ ، فَهِيَ تَنْقُلُ الْكَهْرَبِيَّةَ .

تَمُرُّ الْكَهْرَبِيَّةُ حَاطِفَةً عَبْرَ سِلْكٍ مِنَ النَّحَاسِ وَلَكِنَّهَا تَتَوَقَّفُ عِنْدَ دَفْعِهَا فِي أَنْيَابٍ مَطَّاطِيَّةٍ . وَمِثْلُ هَذِهِ الْأَمْثِلَةِ تُوضِّحُ أَنَّهَا مَوَادُّ مُعَيَّنَةٌ فِي الطَّبِيعَةِ تَكُونُ مُوصَلَاتٍ جَيِّدَةً لِلْكَهْرَبِيَّةِ مِنْ عَدَمِهِ عَلَى تَرْكِيبِهَا الذَّرِّيِّ . كَمَا تَتَوَقَّفُ جَوْدَةُ تَوْصِيلِهَا عَلَى مَدَى سَهُولَةِ حَرَكَةِ الْإِلِكْتُرُونَاتِ فِيهَا . وَالْمُوصَلَاتُ — وَأَهْمُهَا الْحَدِيدُ وَالنِّيْكِلُ وَالْفِصَّةُ وَالنَّحَاسُ — بِهَا الْإِلِكْتُرُونَاتُ حُرَّةٌ ، غَيْرُ مُرْتَبِطَةٍ بِذَرَّةٍ مُعَيَّنَةٍ . وَيُمْكِنُهَا التَّحَوُّلُ بَيْنَ الذَّرَاتِ الْمُجَاوِرَةِ لِتَدَوُّرٍ حَوْلَ ذَرَّةٍ ثُمَّ أُخْرَى . وَعِنْدَمَا يَتَّصِلُ مُوصَلٌ بِبَطَّارِيَّةٍ فَإِنَّ الْمَجَالَ الْكَهْرَبِيَّ يُنْظِمُ الْمَسَارَ الْعَشَوَائِيَّ لِلْإِلِكْتُرُونَاتِ إِلَى مَسَارٍ ثَابِتٍ . وَلِهَذَا فَإِنَّ الْفِلِزَاتِ حَامِلَاتٍ مُمْتَازَةً لِلْكَهْرَبِيَّةِ .

أَمَّا الْعَازِلَاتُ ، فَلَا يُوْجَدُ بِهَا إِلَّا قَلِيلٌ مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ الْحُرَّةِ ، أَوْ لَا يُوْجَدُ إِطْلَاقًا . فَالذَّرَاتُ فِي مَوَادِّ مِثْلِ الْجِلْدِ وَالزُّجَاجِ وَالْبِلَاسْتِيكِ وَالْمَطَّاطِ تُمَسِّكُ بِقُوَّةٍ بَعَنَانَ الْإِلِكْتُرُونَاتِهَا . وَلِغِيَابِ الشَّحْنَاتِ الْحُرَّةِ الْمُتَحَرِّكَةِ ، فَإِنَّ الْعَازِلَاتِ لَا تَوْصِلُ التِّيَّارَ الْكَهْرَبِيَّ .

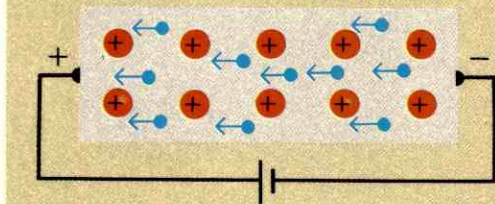
مُوصَلٌ

نَوَاةٌ مُوجِبَةٌ

إِلِكْتُرُونٌ حُرٌّ

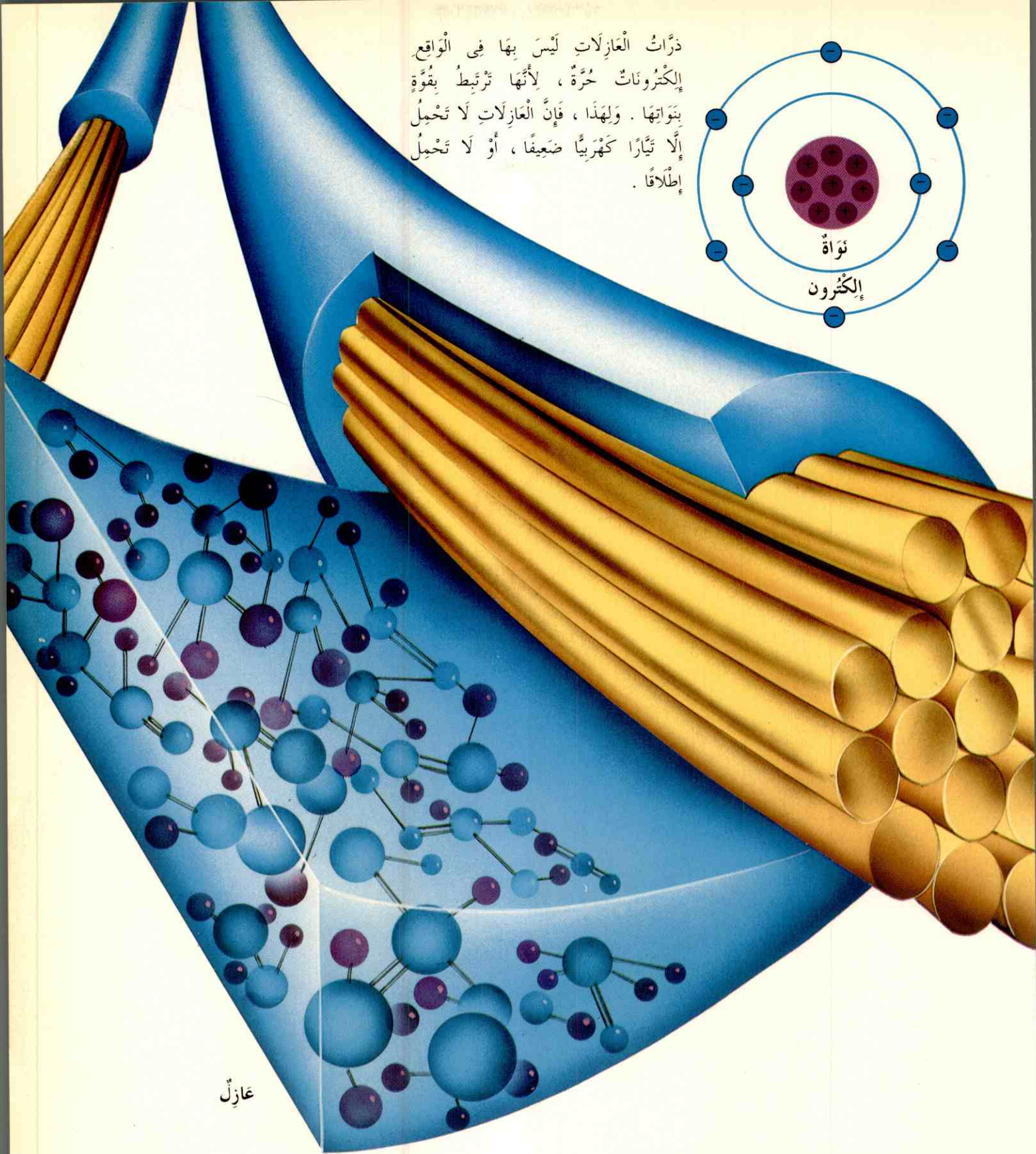
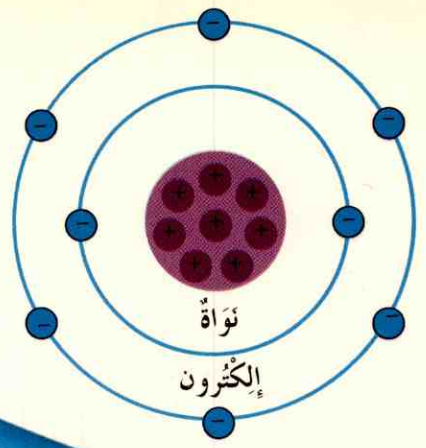
تَرْكِيبُ كَابِلِ قُوَى كَهْرَبِيٍّ يُوْجَدُ دَاخِلَ كَابِلِ الْقُوَى الْكَهْرَبِيِّ حُرْمٌ مِنْ أَسْلَاكِ النَّحَاسِ الْمُوصَلَةِ . وَلِئَمْنَعِ الصَّدَمَاتِ الْكَهْرَبِيَّةَ ، تُلَفُّ الْأَسْلَاكُ بِعَازِلٍ مِنَ الْمَطَّاطِ .

اتِّجَاهُ التِّيَّارِ الْكَهْرَبِيِّ —————> اتِّجَاهُ الْإِلِكْتُرُونَاتِ



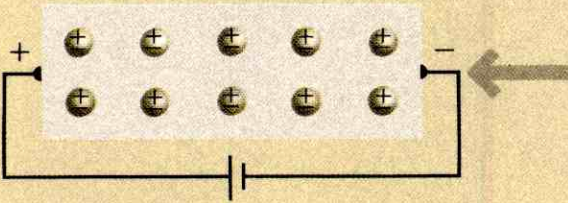
تِيَّارٌ فِي مُوصَلٍ إِذَا اتَّصَلَ الْمُوصَلُ بِبَطَّارِيَّةٍ (أَقْصَى يَسَارًا) ، فَإِنَّ الْإِلِكْتُرُونَاتِ (أَزْرَقَ) تَبْدَأُ مَسَارًا مُنْتَظِمًا نَحْوَ الطَّرَفِ الْمُوجِبِ لِلْبَطَّارِيَّةِ فَيَتَوَلَّدُ تِيَّارٌ كَهْرَبِيٌّ .

ذَرَاتُ الْعَازِلَاتِ لَيْسَ بِهَا فِي الْوَاقِعِ
إِلِكْتُرُونَاتٌ حُرَّةٌ ، لِأَنَّهَا تَرْتَبِطُ بِقُوَّةِ
بِنَوَاتِهَا . وَلِهَذَا ، فَإِنَّ الْعَازِلَاتِ لَا تَحْمِلُ
إِلَّا تَيَّارًا كَهْرَبِيًّا ضَعِيفًا ، أَوْ لَا تَحْمِلُ
إِطْلَاقًا .



عَازِلٌ

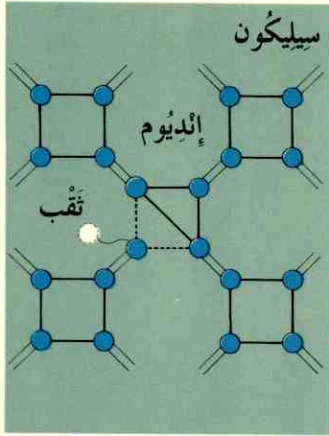
شِخَاتٌ غَيْرُ مُتَحَرِّكَةٍ



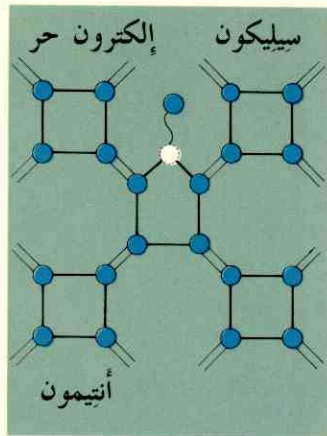
الْعَازِلُ التَّامُّ

تَرْتَبِطُ إِلِكْتُرُونَاتُ الْعَازِلِ بِشِدَّةٍ
بِأَنْوَاتِهَا الْمُوجِبَةِ حَتَّى إِذَا وُصِّلَ
الْعَازِلُ بِبَطَّارِيَّةٍ (أَقْصَى يَسَارَ)، فَإِنَّ
إِلِكْتُرُونَاتِ تَبْقَى فِي أَمَاكِهَا ، فَلَا
يَمُرُّ التَّيَّارُ خِلَالَ الْعَازِلِ .

ما هو شبه الموصل ؟

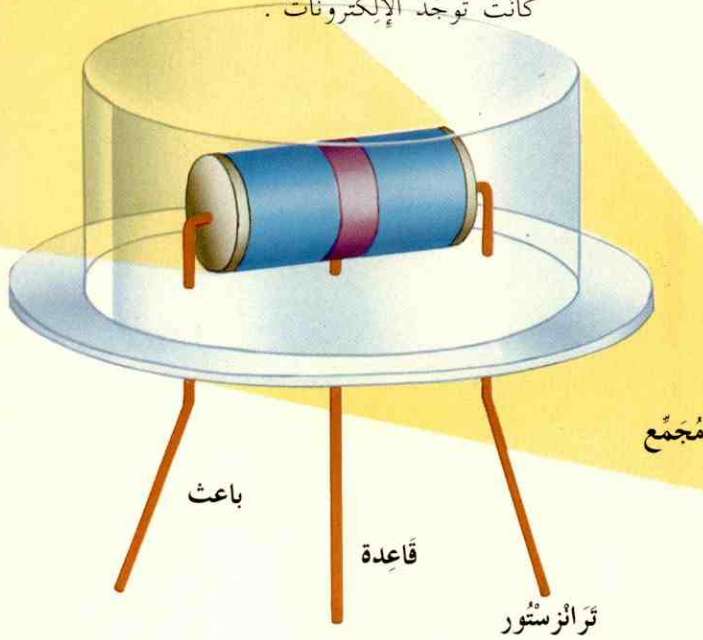


موجب (P)



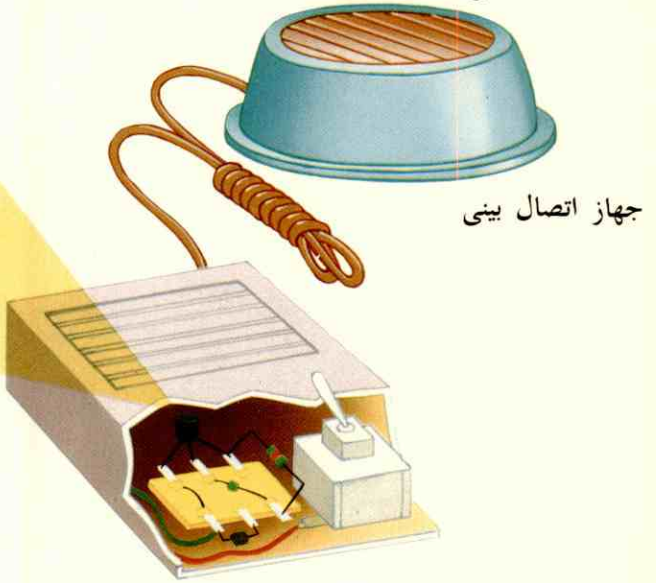
سالب (N)

أشباه الموصّلات من الدّاخل
شبه الموصّل السّالب (N) به فائض من
الإلكترونات . والنّوع الموجب (P)
تنقصه إلكترونات ، وبه ثقب حيث
كانت توجد الإلكترونات .

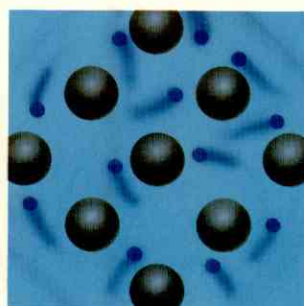
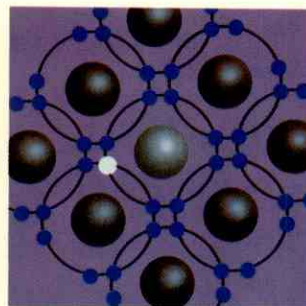
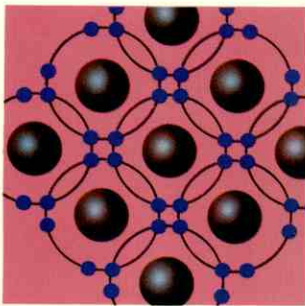


شبه الموصّل هو مادّة بلوريّة توصّل التّيّار الكهربيّ ،
ولكن ليس مثل الفلزّات ، كما أنّها تقاوم مرور الكهربيّة ،
ولكن ليس مثل العازلات . وبصفة عامّة ، فإنّ إلكترونات
أشباه الموصّلات مُرتبطة بنوياتها بشدّة . ولكن إذا أُدمج
قليل من ذرات الأنثيمون — وبه مزيد من
الإلكترونات — في شبه موصّل مثل السيليكون ، فإنّ
الإلكترونات الحرة ستكسبه شحنة سالبة (N) . وبإحلال
بضع ذرات شبه الموصّل بذرات من الإنديوم — الذي
يمكنه استقبال إلكترونات أخرى — فإنّ شبه الموصّل
سيحتوي في هذه الحالة على ثقب في مواضع هذه
الإلكترونات ، فتعمل هذه الثقوب وكأنّها شحنة موجبة
(P).

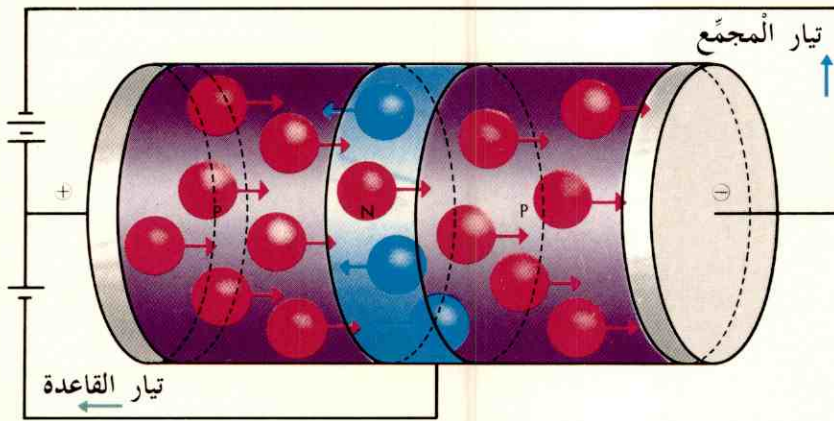
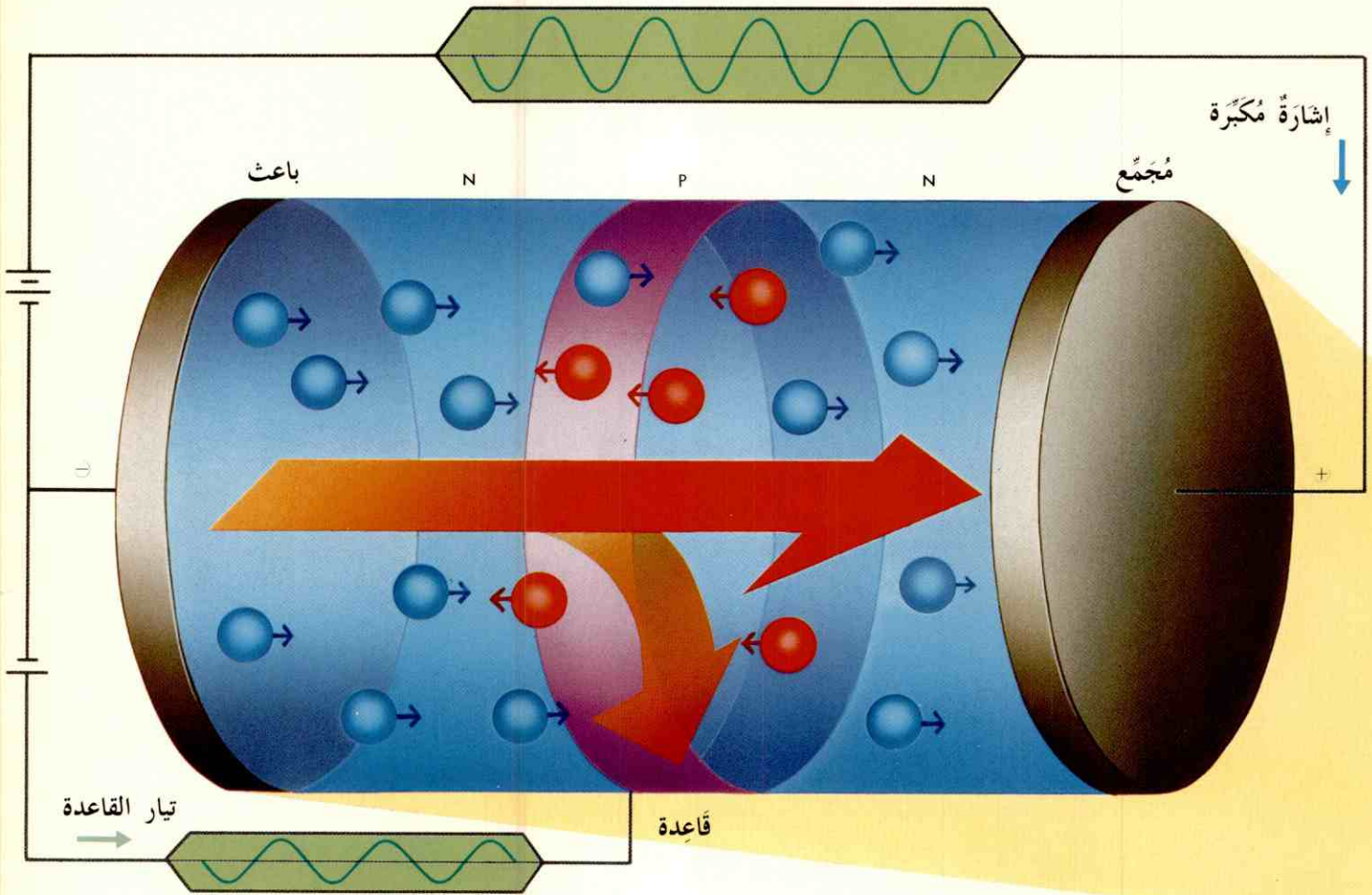
وهذه الخصائص تجعل أشباه الموصّلات مفيدة في
الترانزستور لتكبير التّيّار ، أو لمنع مرور التّيّار أو
للسّماح بمروره في اتجاه واحد . وفي الترانزستور من
نوع NPN (مقابل أعلى)، توجد طبقة من شبه الموصّل
الموجب (P) هي القاعدة ، بين طبقتين سالبتين (N) هما
الباعث والمُجمّع .



اختلاف شبه الموصّل



بالموصّلات إلكترونات حرة ،
والعازلات ليس بها في الواقع أي منها ،
أما شبه الموصّل به قليل من
الإلكترونات الحرة ، والثقب (دائرة
بيضاء) تتركها الإلكترونات الحرة
مكانها . والثقب والإلكترونات
توصّل التّيّار .

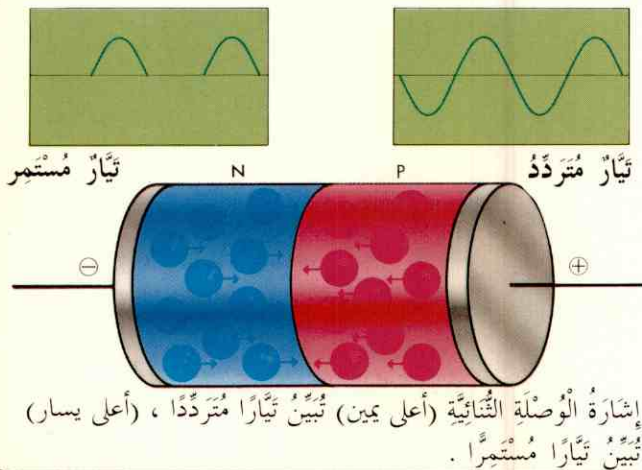


تَرَانزِستُور PNP

تَتَحَرَّكُ الْفَجَوَاتُ مِنَ الْبَاعْثِ الْمُوَجَّبِ (+) إِلَى الْقَاعِدَةِ السَّالِبَةِ (N) ثُمَّ إِلَى الْمُجْمَعِ الْمُوَجَّبِ عِنْدَ الطَّرَفِ السَّالِبِ (-) حَيْثُ يُضَافُ إِلَى التِّيَّارِ الْمَارِّ .

وَصْلُ أَمْ قَطْعُ

عِنْدَمَا تَتَبَعْدُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ السَّالِبَةُ (زرقاء)، وَالتَّقْوُبُ الْمُوَجَّبُ (أرجواني) عَنْ مَوْضِعِ اتِّصَالِ سِيلِيكُونِ (N) وَسِيلِيكُونِ (P) فِي الْوَصْلَةِ الثَّنَائِيَّةِ (مجاور)، يَنْقَطِعُ مَرُورُ التِّيَّارِ . وَعِنْدَمَا تَتَحَرَّكُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ وَالتَّقْوُبُ جِهَةً مَوْضِعِ الْإِتِّصَالِ (السفلى) تُمَرَّرُ الْوَصْلَةُ الثَّنَائِيَّةُ التِّيَّارُ فِي اتِّجَاهٍ وَاحِدٍ، مُحَوَّلَةً التِّيَّارَ الْمُتَرَدِّدَ إِلَى تِيَّارٍ مُسْتَمِرٍّ .

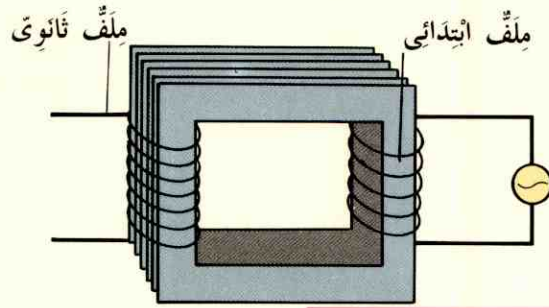


كيف ترسل الكهرباء إلى المنازل ؟

المستهلكين وقد فقد ٤٥٪ من شدته نتيجة المقاومة . كما أن محطات القوى الآمنة كانت تنقله بجهد منخفض ، وذلك لأنه من الصعب السيطرة على نقل التيار المستمر . وكان الحل هو نقل تيار متردد عالي الجهد . ولأن نقل الجهد العالي يتطلب تياراً أقل لنفس القدرة ، فإنها لا تفقد إلا طاقة قليلة نتيجة للمقاومة . وعندما يغادر التيار المتردد محطة القوى ، فإن المحولات الرافعة تزيد جهده من ٢٢٠٠٠ إلى ٧٦٥٠٠٠ فولت ، ثم تخفض المحولات الخافضة جهده إلى ١١٠ أو ٢٢٠ فولت المستخدمة في المنازل .

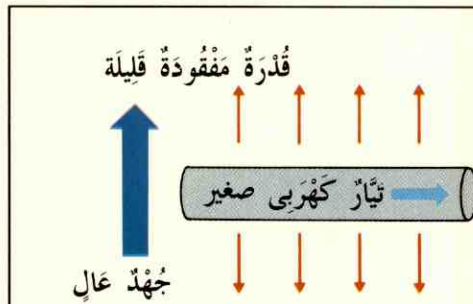
تأتي الكهرباء المستخدمة في المنازل من محطات توليد كبيرة للكهرباء . ومحطات القوى الكهربائية هذه تنقل الكهرباء إلى محطات فرعية حيث توزع إلى المستهلكين .

ولأن خطوط نقل الكهرباء تقاوم التيار الكهربائي ، فإن التيار يفقد بعض طاقته على شكل حرارة . وتتوقف القدرة المفقودة على سريان التيار . فالتيار المستمر (DC) يسري في اتجاه واحد ، أما التيار المتردد (AC) فيبدل مساره بانتظام . ومنذ سنوات عديدة ، كانت محطات القوى تنتج تياراً مستمراً . وكان يصل إلى



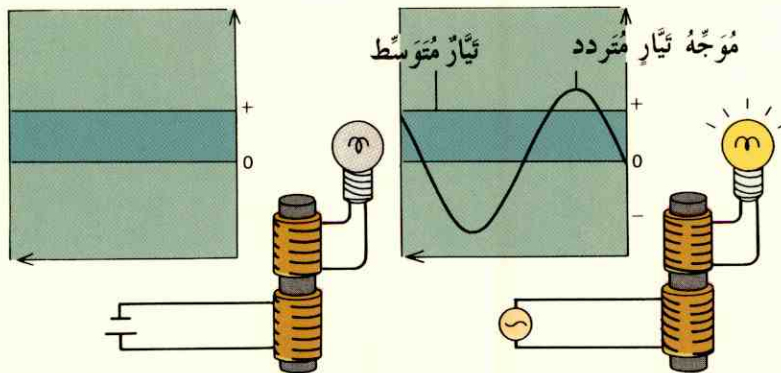
المحولات الرافعة

المحولات ترفع أو تخفض الجهد الكهربائي للتيار المتردد . فيدخل التيار المتردد إلى ملف ابتدائي ملفوف حول قلب من الحديد . وحركة التيار ذهاباً وإياباً تغير المجال المغناطيسي في القلب . وعندما يتحرك هذا المجال حول الملف الثانوي ، يتولد فيه تيار متردد . وإذا كان عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي ، كان الجهد الخارج أكبر من الجهد الداخل .

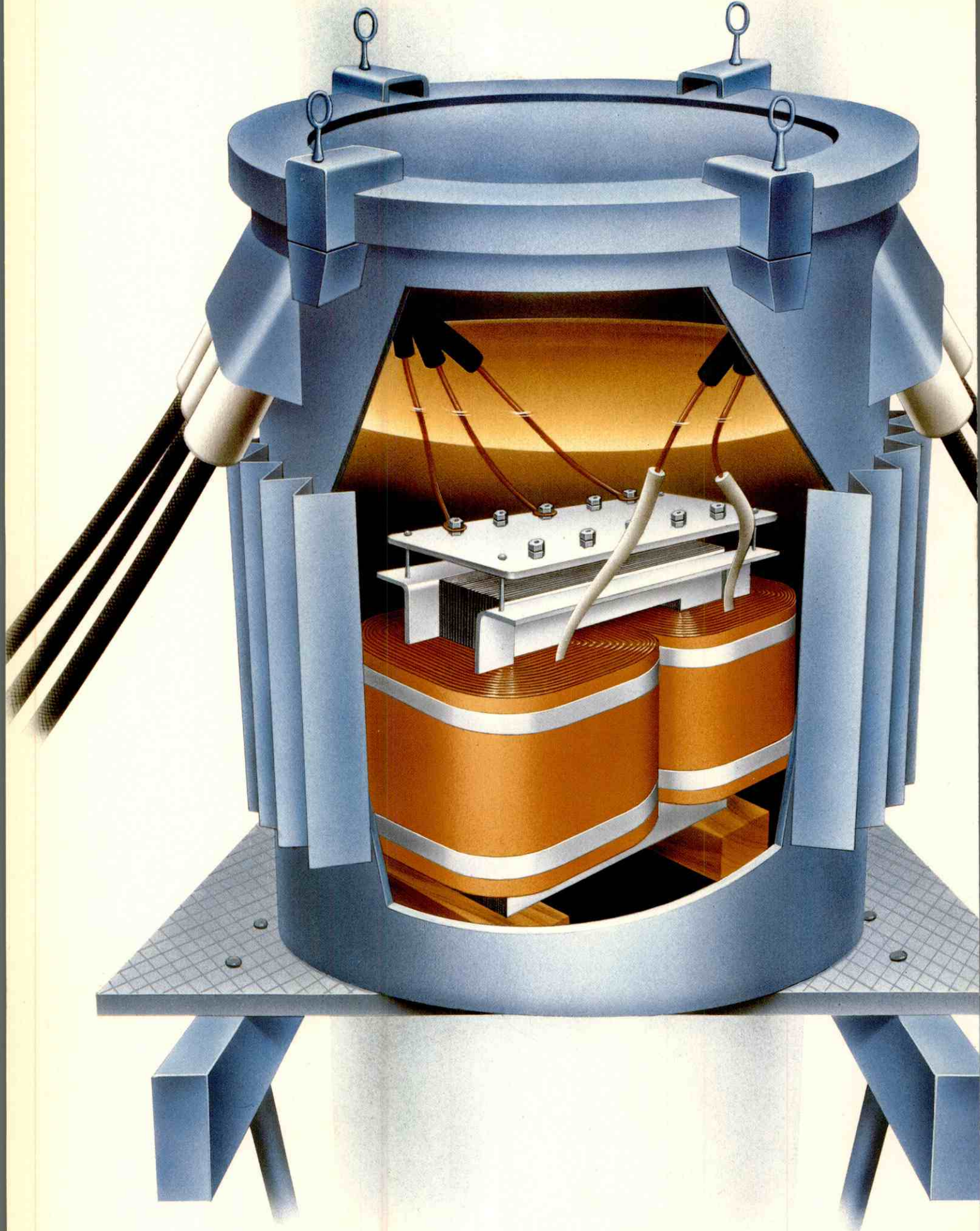


تُحسب القدرة الكهربائية (P) بضرب شدة التيار في الجهد . أي $P = I \times V$. فإذا زاد الجهد ، فإن التيار المطلوب لنفس القدرة يقل . ولأن جهد التيار المستمر يكون منخفضاً . فإنه يلزم تيار مستمر أكبر ليولد نفس القدرة الكهربائية التي يولدها التيار المتردد العالي الجهد .

يبدل التيار المتردد اتجاهه تغير التيار المتردد



يبدل التيار المتردد اتجاهه بخلاف التيار المستمر . فإذا دخل تيار متردد الملف الابتدائي لمحول (قريب) فإن تبدلات التيار تولد مجالاً مغناطيسياً متغيراً وتياراً في الملف الثانوي . وإذا استبدل بتيار مستمر (بعيد) يتولد تيار ثابت .



كَيْفَ تَنْتَقِلُ الْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ ؟

مِكَانِيكَةُ الْمَوْجَاتِ

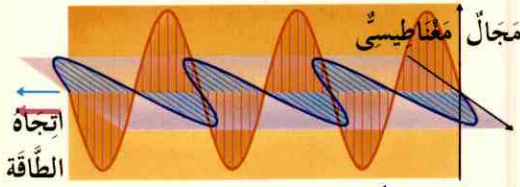
فِي كُلِّ مَرَّةٍ يُعَيَّرُ فِيهَا التَّيَّارُ الْكَهْرَبِيُّ سُرْعَتَهُ أَوْ
مَسَارَهُ ، فَإِنَّهُ يُؤَلِّدُ مَوْجَاتٍ كَهْرُومَغْنَاطِيَّيَّةً ، وَهِيَ
تَمْوِجَاتٌ لِقُوَّةٍ مَغْنَاطِيَّيَّةٍ وَكَهْرَبِيَّةٍ . وَاحِدٌ امْتَلَتْهَا هُوَ
التَّيَّارُ الْمُتَعَيَّرُ فِي هَوَائِي الإِرْسَالِ اللَّاسِلِكِيِّ ، الَّذِي
يُؤَلِّدُ حَلَقَاتٍ مُتَمَدِّدَةً مِنْ مَوْجَاتِ اللَّاسِلِكِيِّ (أَسْفَلَ) .
وَتُنَسَّبُ طَاقَةُ أَى مَوْجَةٍ كَهْرُومَغْنَاطِيَّيَّةٍ إِلَى طُولِهَا ،
وَهُوَ الْمَسَافَةُ بَيْنَ قِمَتَيْنِ مُتَتَالِيَتَيْنِ . وَكُلَّمَا كَانَتْ
الْمَوْجَةُ أَقْصَرَ ، كُلَّمَا زَادَتْ طَاقَتُهَا . وَمِنْ الْمَوْجَاتِ
الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّيَّةِ بِالتَّرْتِيبِ التَّانَزُلِيِّ لِطُولِهَا الْمَوْجِي ،
مَوْجَاتِ اللَّاسِلِكِيِّ ، وَالْأَشَعَّةُ تَحْتَ الْحَمْرَاءِ ،
وَالضَّوُّ الْمَرْئِي ، وَالْأَشَعَّةُ فَوْقَ الْبَنَفْسَجِيَّةِ ، وَالْأَشَعَّةُ
السَّيْنِيَّةُ ، وَأَشَعَّةُ جَامَا . وَيَبْلُغُ طُولُ مَوْجَةٍ أَشَعَّةٍ جَامَا
١٠,٠٠٠,٠٠٠ متر (جُزْءٌ مِنْ مِائَةِ بِلْيُونٍ مِنْ
الْمِترِ) بَيْنَمَا قَدْ يَصِلُ طُولُ مَوْجَةٍ اللَّاسِلِكِيِّ إِلَى بَضْعَةِ
أَمْيَالٍ .

وَتَتَشَرُّ الْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ بِسُرْعَةِ الضَّوِّ ،
وَيَكُونُ مَجَالُهَا الْمَغْنَاطِيْسِيُّ عُمُودِيًّا عَلَى مَجَالِهَا
الْكَهْرَبِيِّ وَعَلَى اتِّجَاهِ انْتِشَارِهَا (أقصى يسار — أعلى)

مِثْلُ مَوْجَاتٍ تُسَبِّحُهَا حَصَوَةٌ أَلْيَتُ فِي بَرَكَهٖ مَاءٌ ،
فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّيَّةَ تُشْعُ دَوَائِرُ
مُسْتَمِرَّةَ الْإِتْسَاعِ مِنْ هَوَائِي الْإِرْسَالِ لِرَآدِيُو ذِي
طَرِيقَيْنِ . وَالتَّيَّارُ الْمُتَرَدِّدُ فِي الْهَوَائِي يُؤَلِّدُ مَوْجَاتٍ
تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجَالَاتٍ كَهْرَبِيَّةٍ وَمَغْنَاطِيَّيَّةٍ .

رَسْمُ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةِ

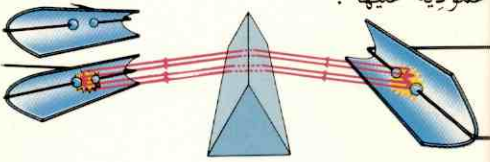
تَنْتَشِرُ الْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ فِي خُطُوطٍ مُسْتَقِيمَةٍ ، بِحَيْثُ تَكُونُ الْمَجَالَاتُ الْكَهْرَبِيَّةُ وَالْمَغْنَاطِيَّةُ عَمُودِيَّةً عَلَى اتِّجَاهِ سَرَيَانِ الطَّاقَةِ .



مَجَالٌ كَهْرَبِي

انكِسارُ الْمَوْجَاتِ

مِثْلُ الضَّوءِ ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةِ تُبْطِئُ وَتَنْحِنِي عِنْدَمَا تَمُرُّ خِلَالَ مَوَادٍّ لَيْسَتْ عَمُودِيَّةً عَلَيْهَا .



الانعكاسُ الْمَوْجَاتِ

إِذَا اصْطَدَمَتِ الْمَوْجَاتُ الْكَهْرُومَغْنَاطِيَّةُ بِسَطْحٍ مَعْدِنِيٍّ عَلَى شَكْلِ قَطْعٍ مُكَافِيٍّ ، فَإِنَّهَا تَنْعَكِسُ مُتَجَمِّعَةً فِي نُقْطَةٍ .



سَطْحٌ قَطْعٍ مُكَافِيٍّ

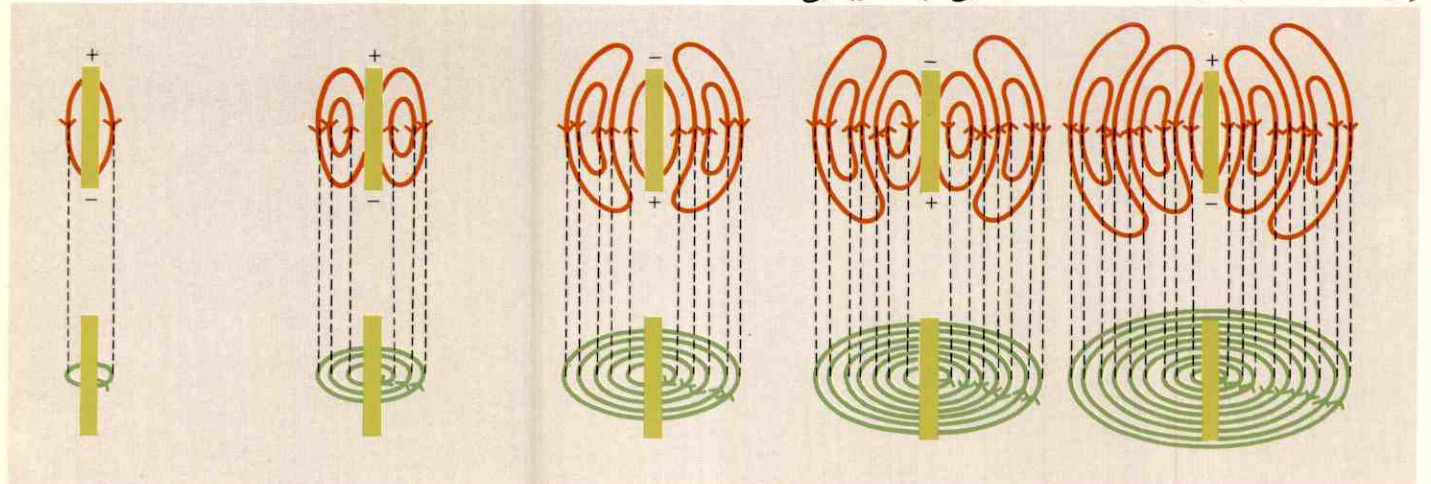


كَيْفَ تَنْمُو الْمَوْجَاتُ

تَنْشَأُ الْمَوْجَةُ الْمُعَقَّدَةُ الْمُنْبَعِثَةُ مِنْ هَوَائِيٍّ مُرْسِلٍ ، مِنْ تَبَدُّلٍ وَاحِدٍ فِي التَّيَّارِ . وَعِنْدَمَا يَمُرُّ التَّيَّارُ إِلَى أَعْلَى الْهَوَائِيٍّ ، فَإِنَّ الْمَجَالَ الْكَهْرَبِيَّ (أَحْمَرُ) يَتَحَرَّكُ مِنَ الْقِمَّةِ إِلَى الْقَاعَةِ ، وَيَدُورُ الْمَجَالُ الْمَغْنَاطِيْسِيَّ (أَخْضَرُ) فِي

مَجَالٌ مَغْنَاطِيْسِي

مَجَالٌ كَهْرَبِي

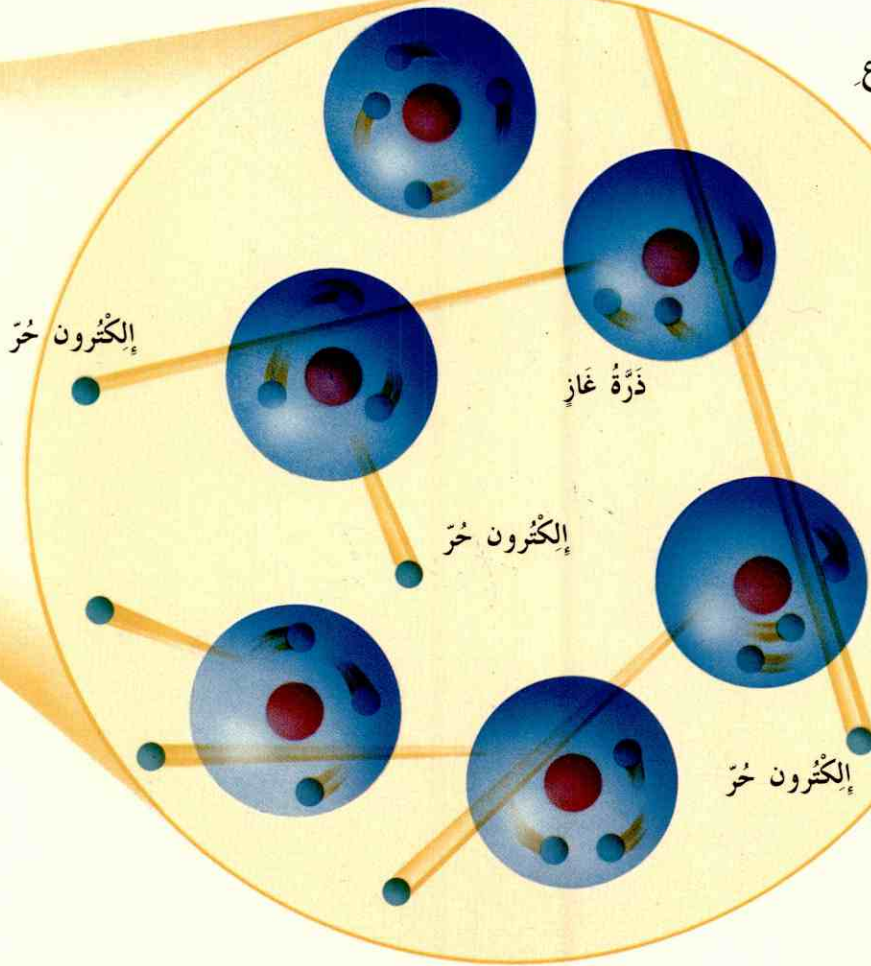


اتِّجَاهٍ مُضَادٍّ لِحَرَكَةِ عَقْرَبِي السَّاعَةِ . وَعِنْدَمَا يَنْعَكِسُ اتِّجَاهُ التَّيَّارِ الْمَتَرَدِّدِ (أَوْسَطُ) تَنْسَعُ دَوَائِرُ الْمَجَالَاتِ الْمُتَكَوِّنَةِ ، وَتَكُونُ مَجَالَاتُ كَهْرَبِيَّةٍ وَمَغْنَاطِيْسِيَّةٍ جَدِيدَةً فِي الِاتِّجَاهَاتِ الْمُضَادَّةِ .

هَلْ يُمَكِّنُ الْحُصُولُ عَلَى طَاقَةٍ أُخْرَى مِنَ الذَّرَاتِ ؟

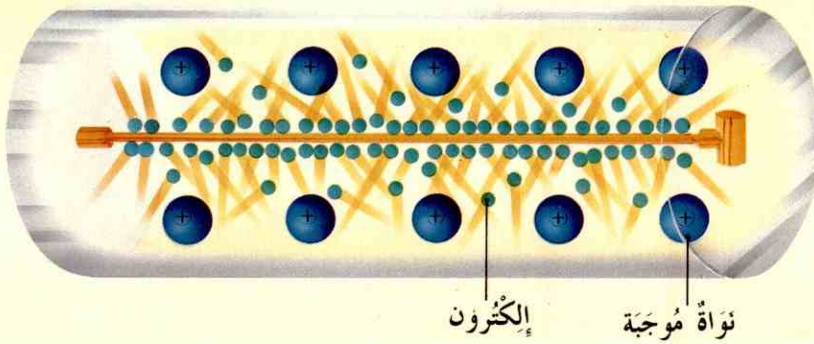
التَّيَّارُ الَّذِي يُدِيرُ الْأَلَاتِ وَيُولِّدُ الْكَهْرَبِيَّةَ الْمَعْنَاطِيَّيَّةَ ، هُوَ فَقَطْ أَحَدُ صُورِ
الطَّاقَةِ النَّاتِجَةِ عَنِ الْخَوَاصِّ الْكَهْرَبِيَّةِ لِلذَّرَّةِ . وَمِنَ الصُّوَرِ الْأُخْرَى النَّشَاطُ
الْإِشْعَاعِيُّ ، وَهُوَ الطَّاقَةُ الْمُتَحَرَّرَةُ عِنْدَمَا تَتَحَطَّمُ نَوَاةُ الذَّرَّةِ . وَتَتَكَوَّنُ
الذَّرَاتُ مِنْ الْكَيْتْرُونَاتِ سَالِيَةٍ ، وَبُرُوثُونَاتٍ مُوجِبَةٍ ، وَجُسَيْمَاتٍ مُتَعَادِلَةٍ
تُسَمَّى التِّيُوثْرُونَاتِ . وَتَرْتَبِطُ الْبُرُوثُونَاتُ وَالتِّيُوثْرُونَاتُ مَعًا فِي النَّوَاةِ بِقُوَى
غَيْرِ ظَاهِرَةٍ وَلَكِنَّهَا هَائِلَةٌ الشَّدَّةِ . وَتَتَحَلَّلُ مُعْظَمُ أَنْوِيَةِ الذَّرَاتِ بِمُرُورِ
الْوَقْتِ ، وَتَنْطَلِقُ بَعْضُ الطَّاقَةِ عَلَى صُورَةِ دَقَائِقِ أَلْفَا وَبَيْنَا الْعَالِيَةِ الطَّاقَةِ
وَأَشْعَةً جَامَا . وَهَذِهِ الْإِشْعَاعَاتُ لَا تَرَى ، وَلَكِنْ يُمَكِّنُ كَشْفُهَا بِأَجْهَزَةٍ
إِلِكْتْرُونِيَّةٍ . وَعَدَادُ جَيْجَرٍ ، هُوَ أَكْثَرُ أَنْوَاعِ كَشَافَاتِ الْإِشْعَاعِ شَيْوعًا ،
وَهُوَ يُحَوِّلُ طَاقَةَ الْإِشْعَاعِ إِلَى إِشَارَاتٍ إِلِكْتْرُونِيَّةٍ يُمَكِّنُ قِيَاسَهَا .

الْكَشْفُ عَنِ الْإِشْعَاعِ



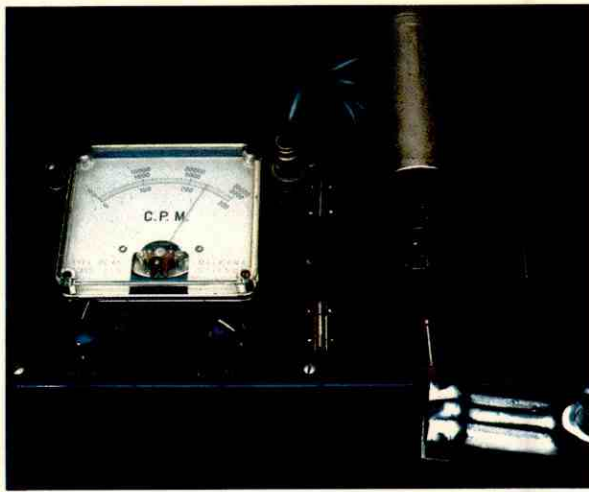
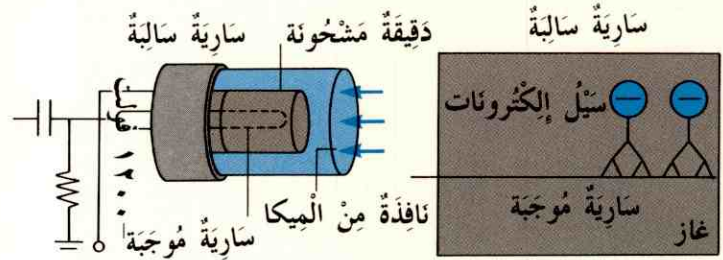
كَيْفَ يَعْمَلُ عَدَادُ جَيْجَرٍ

عِنْدَمَا تَصْطَلِمُ دَقِيقَةً مِنْ نَوَاتِجِ
نَشَاطِ إِشْعَاعِي بِذَرَّةِ غَازٍ ، فَإِنَّهَا
تُحَرَّرُ إِلِكْتْرُونًا مِنْ ذَرَّةِ الْغَازِ .
وَيَنْتَقِلُ هَذَا الْإِلِكْتْرُونُ إِلَى السَّارِيَةِ
مُوجِبَةً الْجُهْدِ فِي الْوَسْطِ وَلَكِنَّهُ قَدْ
بَصَدِمَ ذَرَّةً أُخْرَى فِي طَرِيقِهِ .
وَبِتَابَعِ التَّصَادُمَاتِ يَتَحَرَّرُ سَبِيلٌ مِنْ
الْإِلِكْتْرُونَاتِ يُسَجَّلُ نَبْضَةً كَهْرَبِيَّةً
عَلَى السَّارِيَةِ فِي الْوَسْطِ .



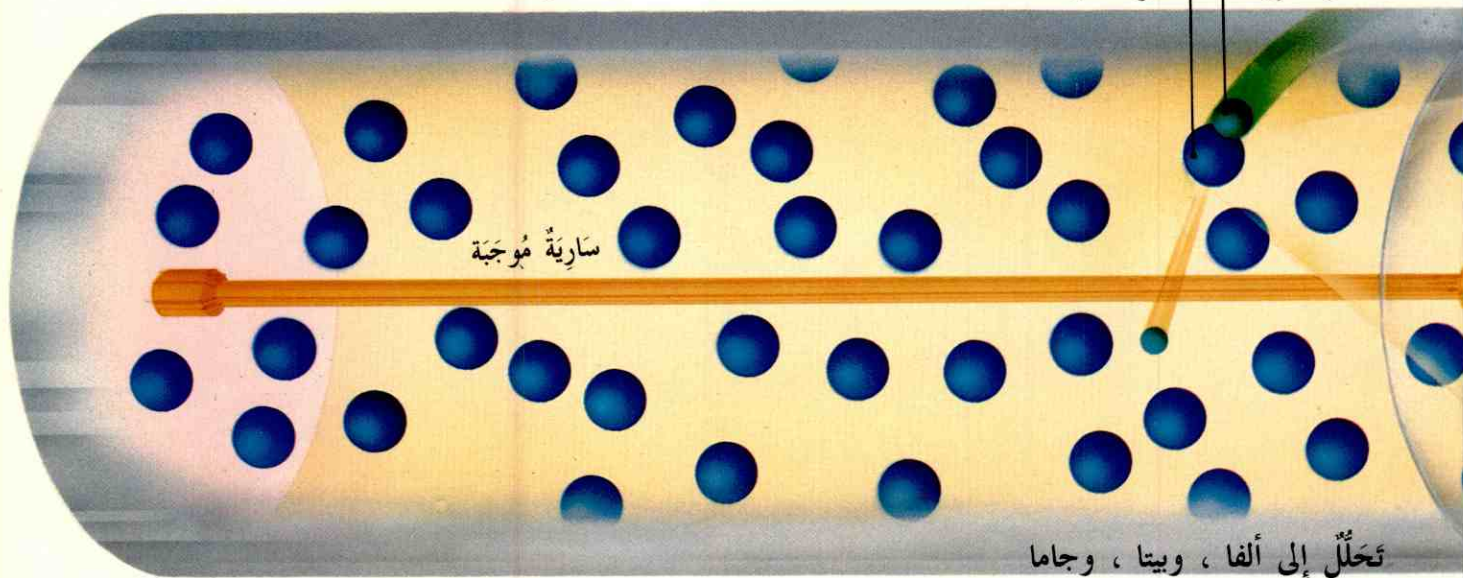
أَسَاسِيَّاتُ عَدَادِ جِيْجَرٍ

يَعْمَلُ أَتُبُوبُ الْعَدَادِ الْمَعْدِنِيِّ كَأَسْطُوَانَةٍ لِلْغَازِ ، وَكَسَارِيَةٍ سَالِبَةٍ . وَفِي وَسْطِهَا السَّارِيَةُ الْمُوجِبَةُ . يَدْخُلُ الْإِشْعَاعُ مِنْ نَافِذَةِ الْعَدَادِ الْمَصْنُوعَةِ مِنَ الْمِيكَا ، وَيَصْطَلِّمُ بِذَرَّاتِ الْغَازِ ، فَيُحْدِثُ عَاصِفَةً مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ بَيْنَ السَّارِيَتَيْنِ .



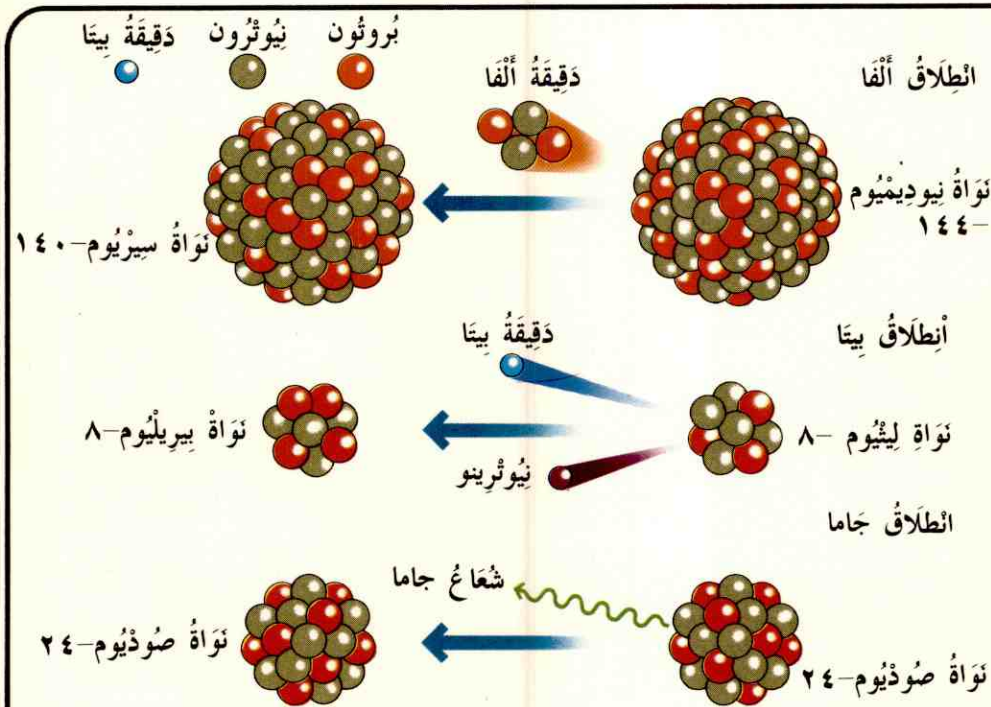
عَدَادُ جِيْجَرٍ وَمَقْيَاسُ التَّبَضَّاتِ
سَارِيَةٌ سَالِبَةٌ

دَقِيقَةُ إِشْعَاعِ ذَرَّةِ غَازٍ



تَحْلُلٌ إِلَى أَلْفَا ، وَبِيْتَا ، وَجَامَا

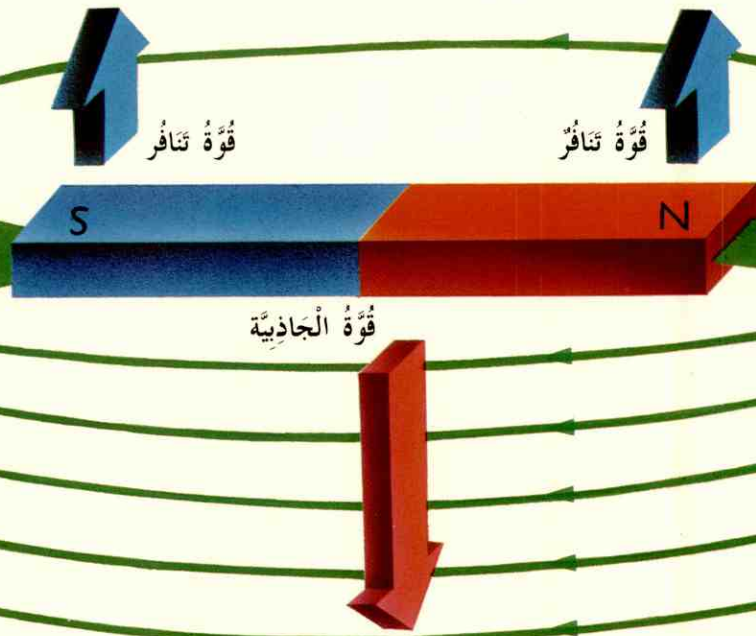
عِنْدَ انْطِلَاقِ أَلْفَا وَبِيْتَا نَتِيْجَةُ تَحْلُلِ الْعُنْصُرِ ، فَإِنَّهُ يَتَحَوَّلُ إِلَى عُنْصُرٍ جَدِيدَةٍ . أَمَّا عِنْدَ انْطِلَاقِ جَامَا ، فَإِنَّ تَرْتِيبَ الْبُرُوتُونَاتِ وَالنِّيُوتْرُونَاتِ فَقَطْ يَتَغَيَّرُ . فَعِنْدَ تَحْلُلِ نَوَاةِ نِيُودِيْمِيُومِ ١٤٤- (يسار - أعلى) وَانْطِلَاقِ دَقِيقَةِ أَلْفَا فَإِنَّهَا تَتَحَوَّلُ إِلَى نَوَاةِ سِيْرِيُومِ ١٤٠- . أَمَّا عِنْدَ انْطِلَاقِ بِيْتَا (وسط)، يَتَحَوَّلُ لِيْثِيُومِ ٨ إِلَى بِيْرِيْلِيُومِ ٨ عَنْ طَرِيقِ تَحَوُّلِ نِيُوتْرُونٍ فِي اللَّيْثِيُومِ إِلَى بُرُوتُونٍ وَانْطِلَاقِ دَقِيقَةِ بِيْتَا وَدَقِيقَةِ مُتَعَادِلَةٍ تُسَمَّى نِيُوتْرِينُو . وَانْطِلَاقِ جَامَا (أَسْفَل) مِثْلُ انْطِلَاقِ الطَّاقَةِ النَّوَوِيَّةِ الزَّائِدَةِ فِي ذَرَّةِ صُودِيُومِ ٢٤- عَلَى شَكْلِ أَشْعَةٍ جَامَا ، وَلَكِنَّ الذَّرَّةَ لَا تَتَغَيَّرُ .



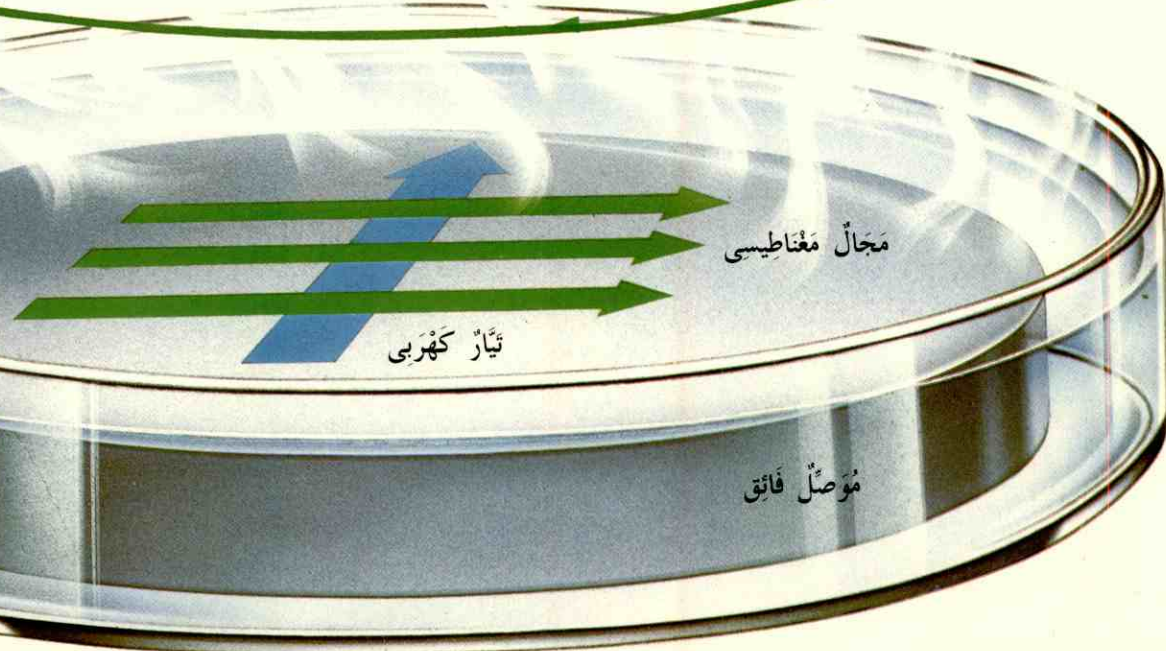
مَا هِيَ فَرْطُ الْمُوصِلِيَّةِ (الْمُوصِلِيَّةُ الْفَائِقَةُ) ؟

الْمُوصِلِيَّةُ الْفَائِقَةُ مِنْ بَيْنِ اكْتِشَافَاتِ الْقَرْنِ الْعِشْرِينَ الْمُتَبَرِّجَةِ . فَبَعْضُ الْمَوَادِّ عِنْدَ تَبْرِيدِهَا الشَّدِيدِ ، يَكُونُ لَهَا الْقُدْرَةُ عَلَى تَوْصِيلِ الْكَهْرَبِيَّةِ دُونَ مُقَاوِمَةٍ ، فَيَجْعَلُهَا هَذَا فَائِقَةَ التَّوَصِيلِ . فِي عَامِ ١٩١١ ، عِنْدَمَا كَانَ أَحَدُ فِيزِيَايِي هُولَنْدَا هِيك كامِرْلَنج أُوْتِرَ يَسْتَحْدِمُ الْهَلْيُومَ لِتَبْرِيدِ سَلَكِ زَنْبِقٍ إِلَى ٠.٤ مَطْلَقَةً (٢٦٩-°م أَوْ ٥٤٣-°ف) ، بَهَرَهُ مُرُورُ التَّيَّارِ خِلَالَ السَّلَكِ دُونَ أَى مُقَاوِمَةٍ . وَالْيَوْمَ ، يُمَكِّنُ لِلْعُلَمَاءِ تَوْلِيدَ مَوَادِّ تُظْهَرُ فَرْطُ الْمُوصِلِيَّةِ فِي دَرَجَاتِ حَرَارَةٍ أَعْلَى حَتَّى ١٠٠ مَطْلَقَةً

(١٧٣-°م أَوْ ٢٨٠-°ف) . وَقَدْ أَدْخَلَتْ هَذِهِ الْمَوَادُّ الْمُدْهِشَةَ بَعْضَ الْمَفَاهِمِ الْمُثِيرَةِ ، مِنْهَا تَخْزِينُ الطَّاقَةِ الْمَغْنَطِيسِيَّةِ فَائِقَةُ التَّوَصِيلِ وَالْمَوْلِدَاتُ فِي أَنْظِمَةِ الْقُدْرَةِ ، وَالْمَرْكَبَاتُ الَّتِي تُطْلَقُ بِالْقُدْرَةِ الْكَهْرُومَغْنَطِيسِيَّةِ ، وَالْقَوَارِبُ وَالْقَطَارَاتُ فَائِقَةُ الْمُوصِلِيَّةِ ، وَكُلُّهَا تَجْمَعُ بَيْنَ التَّوَصِيلِ الْمُدْهِشِ لِلْمُوصِلَاتِ الْفَائِقَةِ وَخَوَاصِهَا الْمَغْنَطِيسِيَّةِ الشَّاذَّةِ ، فَالْمُوصِلَاتُ الْفَائِقَةُ عِنْدَ وَضْعِهَا فِي مَجَالٍ مَغْنَطِيسِيٍّ فَإِنَّهَا تُولِّدُ مَجَالَهَا الْمَغْنَطِيسِيَّ الْخَاصَّ الْمُشَابِهَ ، فَتَجْعَلُ الْأَجْسَامَ الْمَمْعَنْطَةَ تَحُومُ فَوْقَهَا .

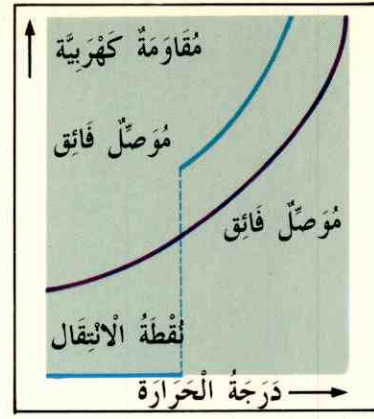
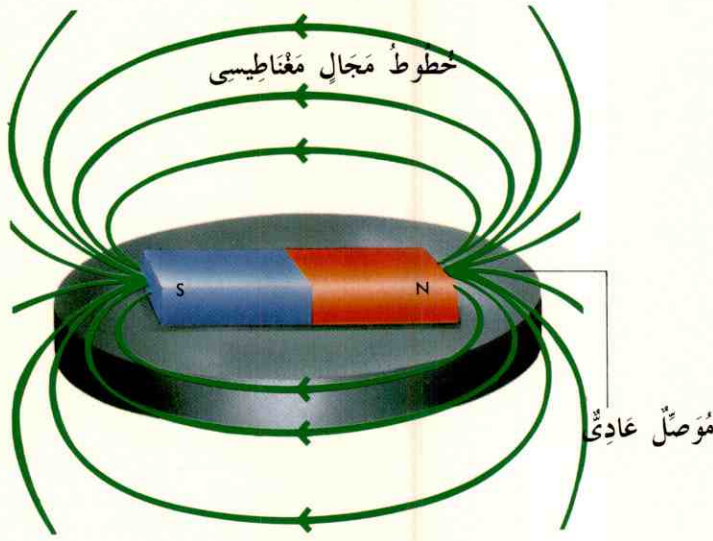


خُطُوطُ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيسِيِّ



مُوصَلَاتٌ ثَقِيلِيَّةٌ

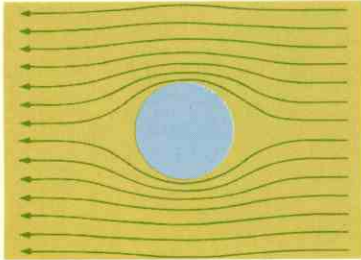
تَنْقُلُ الْمُوصَلَاتُ الْعَادِيَّةُ التَّيَّارَ بِكَفَاءَةٍ أَقَلِّ مِنَ الْمُوصَلَاتِ الْفَائِقَةِ (أسفل)، كَمَا أَنَّهَا لَا تَتَمَتَّعُ بِخَوَاصِّ التَّنَافُرِ السَّحَرِيَّةِ لِلْمُوصَلَاتِ الْفَائِقَةِ (مقابل).



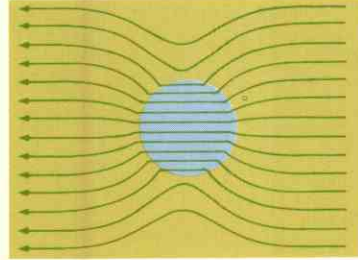
تَقُلُّ الْمُقاومةُ بِانْخِفَاضِ دَرَجَةِ حَرَارَةِ الْمُوصَلَاتِ الْعَادِيَّةِ (أرجواني)، وَلَكِنَّ الْمُوصَلِ الْفَائِقِ (أزرق) عِنْدَمَا تُصِلُ دَرَجَةُ حَرَارَتِهِ إِلَى نَقْطَةِ الْإِنْتِقَالِ تَهْبِطُ مُقاومتهُ الْكَهْرَبِيَّةُ فَجأةً إِلَى الصَّفْرِ.

تَأْثِيرُ مَيْسَر

تُخْتَلِفُ الْخَوَاصُّ الْمَغْنَطِيسِيَّةُ لِمُوصَلٍ فَائِقٍ عَنْهَا لِمُوصَلٍ حَدِيدِيٍّ الْمَغْنَطِيَّةِ مِثْلُ الْحَدِيدِ. فَإِذَا وُضِعَتْ الْأَخِيرَةُ فِي مَجَالٍ مَغْنَطِيسِيٍّ فَإِنَّهَا تَنْجَذِبُ إِلَى الْمَغْنَطِيسَاتِ. أَمَّا الْمُوصَلَاتُ الْفَائِقَةُ فَتَتَنَافَرُ مَعَ الْمَغْنَطِيسَاتِ وَيُسَمَّى هَذَا تَأْثِيرُ مَيْسَر.



مُوصَلٌ عَادِيٌّ

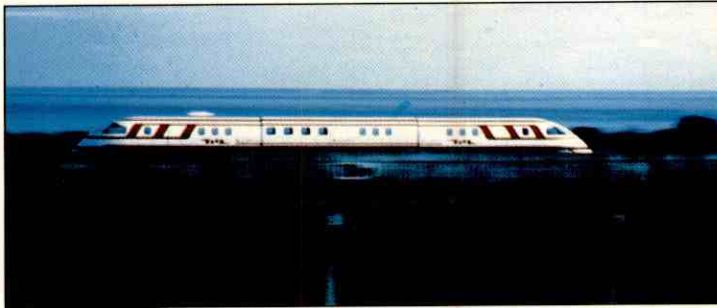


مُوصَلٌ حَدِيدِيٌّ الْمَغْنَطِيَّة

مُوصَلٌ فَائِقٌ يُسَبِّبُ طَفَوْا

إِذَا وُضِعَ مَغْنَطِيسٌ فَوْقَ مُوصَلٍ فَائِقٍ مُبَرَّدٍ بِالْهِيلِيُومِ، فَإِنَّهُ يَنْتُجُ فِي الْمُوصَلِ تَيَّارَ كَهْرَبِيٍّ وَمَجَالٌ كَهْرُومَغْنَطِيسِيٌّ يَصُدُّ الْقُوَّةَ الْمَغْنَطِيسِيَّةَ لِلْمَغْنَطِيسِ، فَيَجْعَلُ الْمَغْنَطِيسَ يَطْفُو (يَحُومُ) فَوْقَهُ.

تَأْثِيرُ مَيْسَر



تَزْدَادُ سُرْعَةُ الْمُوصَلَاتِ الْفَائِقَةِ فَوْقَ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيسِيٍّ لِلْمَسَارِ، فَتَزْدَادُ الْقُوَّةُ الْمَغْنَطِيسِيَّةُ، وَتَرْفَعُ الْقِطَارَ ٤ بُوصَاتٍ فَوْقَ الْمَسَارِ.

قِطَارٌ فَائِقُ الْمُوصِلِيَّةِ

أَحَدُ تَصْمِيمَاتِ قِطَارِ الْمُسْتَقْبَلِ مِنَ الْيَابَانِ، تَقْتَرِحُ اسْتِخْدَامَ الْمَغْنَطِيسَاتِ الْفَائِقَةِ الْمُوصِلِيَّةِ لِتَسْيِيرِ الْقِطَارِ. وَالْمُوصَلَاتِ الْفَائِقَةِ تَحْتَ الْعَرَبَاتِ تَتَنَافَرُ مَعَ الْمَجَالِ الْمَغْنَطِيسِيٍّ لِلْمَسَارِ، فَيَرْتَفِعُ الْقِطَارُ لِيَطْفُو. وَيَسِيرُ الْقِطَارُ عَلَى عَجَلَاتٍ إِلَى أَنْ يَبْلُغَ السَّرْعَةَ الْكَافِيَةَ لِيَطْفُو.

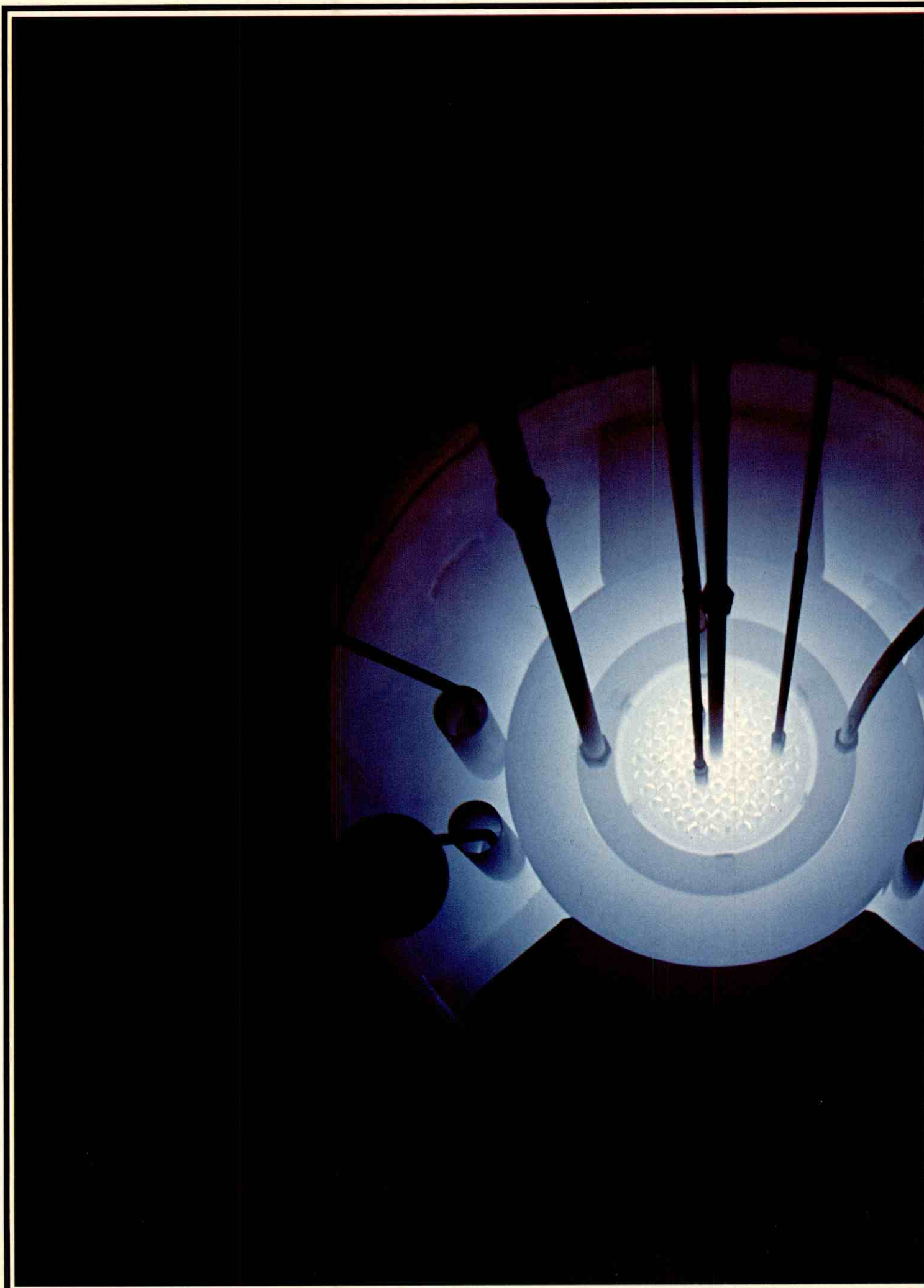
هِيلِيُوم سائل

6 توليد الكهربية

في عام ١٨٣١ عندما كان الفيزيائي الإنجليزي ميشيل فاراداي يجري تجارب بالكهرباء ، وصل طرفي جهاز قياس كهربى بقرص من النحاس . فوضع أحد الطرفين على حافة القرص ، والطرف الآخر على محور القرص . ثم أدار القرص بين قطبي مغناطيس قوى . فسرى تيار كهربى فى الدائرة أثناء دوران القرص ، وزاد هذا التيار بزيادة سرعة الدوران . وكان هذا أول مولد كهربى اخترعه فاراداي ، الذى أصبح فيما بعد من أشهر العلماء .

والمولدات الكهربائية الحديثة — من أنواعها المحمولة التى تدار بالبنزين إلى محطات التوليد الهيدروليكية الضخمة — أكثر تعقيدا من مولد فاراداي وينتج تيارا أكبر بكثير ، ولكنها جميعا تعمل طبقا لنفس النظرية : إذا تحرك مغناطيس مارا بملف من السلك ، يتولد تيار كهربى فى الملف . وتسمى هذه الظاهرة بالتأثير الكهرومغناطيسى . وكان عالم هولندى هو هانز كريستيان أورستد قد اكتشف العلاقة بين القوى الكهربائية والمغناطيسية عام ١٨١٩ ، عندما لاحظ أن التيار الكهربى المتحرك يولد مجالا مغناطيسيا . وأثناء محاولات فاراداي لتفسير هذا التأثير ، اخترع مولده اليدوى . واليوم ، يستغل العلماء طاقة المياه الجارية ، والشمس ، والذرات ، والوقود الأحفورى ، والصخور الجوفية الساخنة ، والرياح لتحريك مغناطيسات عبر ملفات من السلك لتوليد الكهرباء التى تساعد على تقدم المجتمع .

ضوء أزرق خافت ينبعث من الماء الذى يعطى قلب مفاعل نووى فى أحد مولدات القدرة النووية ، وتفتت الذرات هو أحد طرق كثيرة لإنتاج القدرة اللازمة لإدارة المولدات الكهربائية .



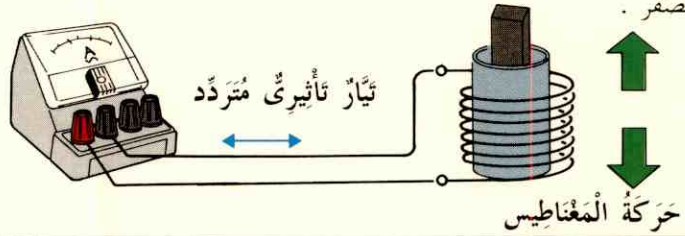
كيف يعمل مولد التيار المتردد ؟

تيار تأثيري

يُحوّل المُولّد الطّاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهربيّة بواسطة إدارة ملفّ من السلك في مجال مغناطيسيّ . ويتولّد تيار كهربائيّ أيضًا ، عندما تقطع خطوط القوّة المغناطيسيّة ملفًا من السلك (يسار) وتسرّي الإلكترونات (أزرق) نحو القطب الموجب للمغناطيس ، ويمرّ التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب . وطوال مدّة تحرك المجال المغناطيسيّ خلال الملفّ أو الموصل ، يتولّد تيار تأثيريّ في الموصل . وتنطبق نفس النظريّة ، عندما يمرّ ملفّ من السلك بالقرب من مغناطيس (أقصى يسار) ويتحرك الملفّ في المجال المغناطيسيّ . ويسرّي التيار التأثيريّ بطريقة تُبعد المغناطيس إذا كان المغناطيس يقترب من الملفّ ، وتجذب المغناطيس إذا كان المغناطيس يبتعد عن الملفّ . وفي كلّ مرّة يُغيّر فيها المغناطيس اتجاهه بالنسبة للملفّ ، فإنّ التيار يُغيّر اتجاهه أيضًا أو يتبدّل . ومادام الجهاز الميكانيكيّ يدير الموصل أو المجال المغناطيسيّ ، فإنّ المُولّد سيستمرّ في توليد تيار متردد (AC) .

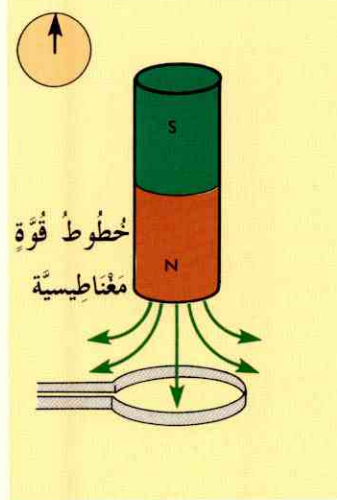
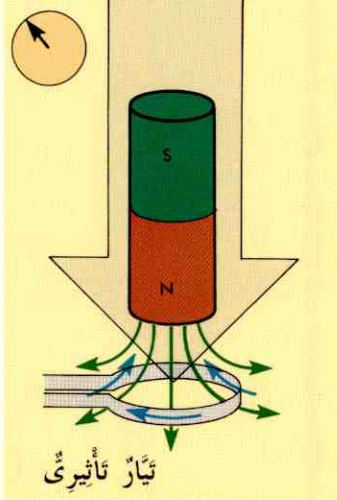
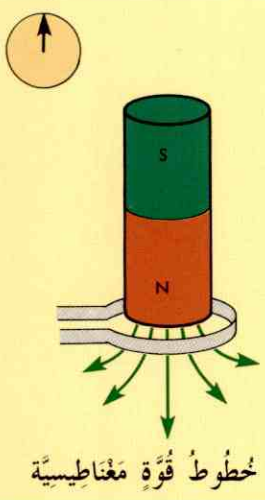
تغيّر اتجاه التيار

إذا حرك مغناطيس داخل ملفّ من السلك (أسفل) فإنّه يُولّد تيارًا تأثيريًا يمرّ في الملفّ . وهذا التيار يسبّب انحراف إبرة الجلفانومتر (ص ٧٦ - ٧٧) عن موضع الصفر . وإذا جذب المغناطيس إلى خارج الملفّ ، يتغيّر اتجاه التيار أو يتبدّل ، وتتحرف إبرة الجلفانومتر إلى الجانب المضادّ لموضع الصفر .



تيار متردد (متبدل)

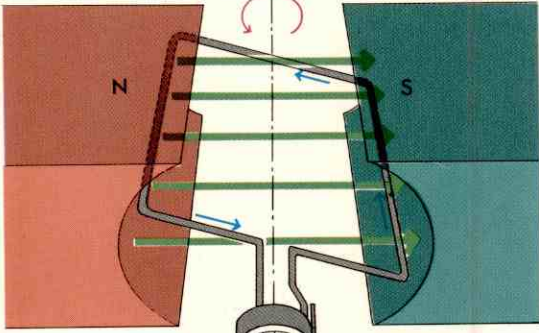
لا يُولّد المغناطيس تيارًا بالتأثير ، إلا إذا كانت خطوط القوّة تقطع الملفّ . وتحريك مغناطيس داخل لفّة سلك تولّد فيه تيارًا . وإذا توقفت حركة المغناطيس ، فإنّ التيار (أسهم زرقاء) يتوقّف . ويتوقّف (أسهم) . ويجذب المغناطيس إلى الخارج يتولّد تيار في اتجاه مضادّ .



مُولِّدٌ بَسِيطٌ لِلتَّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ

فِي الْمُولِّدِ الْبَسِيطِ ، تَدُورُ لَفَّةٌ مِنَ السِّلْكِ بَيْنَ قُطْبَيْ مَعْنَاطِيْسٍ ثَابِتَةٍ . وَيَتَّصِلُ كُلُّ مِنْ طَرَفَيْ السِّلْكِ بِحَلْقَةٍ تَحْتَكَ عِنْدَ دَوْرَانِهَا بِفُرْشَةٍ مِنَ الْكَرْبُونِ (أَسْفَلَ) وَيَمُرُّ التَّيَّارُ التَّائِيْرِيُّ إِلَى الْحَلْقَةِ الدَّاخِلِيَّةِ عِنْدَمَا يَمُرُّ نِصْفُ اللَّفَّةِ بِالْقُطْبِ الشَّمَالِيِّ ، وَلَكِنْ يَمُرُّ التَّيَّارُ إِلَى الْحَلْقَةِ الْخَارِجِيَّةِ عِنْدَمَا يَمُرُّ النِّصْفُ الْآخَرُ لِلَّفَّةِ بِالْقُطْبِ الشَّمَالِيِّ .

دوران

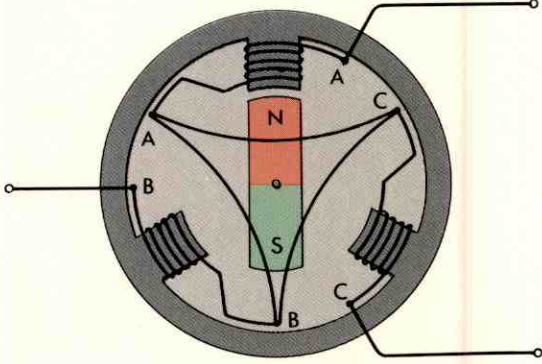


حَلَقَاتُ مُنْزَلَقَةٍ

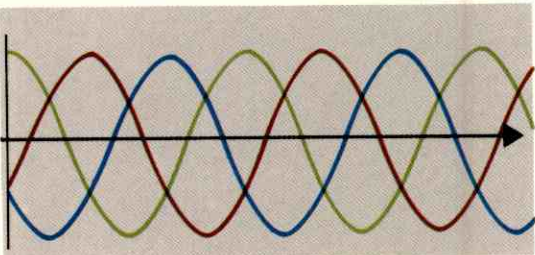
فُرْشُ كَرْبُون

مُولِّدُ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ ثَلَاثِي الطُّورِ

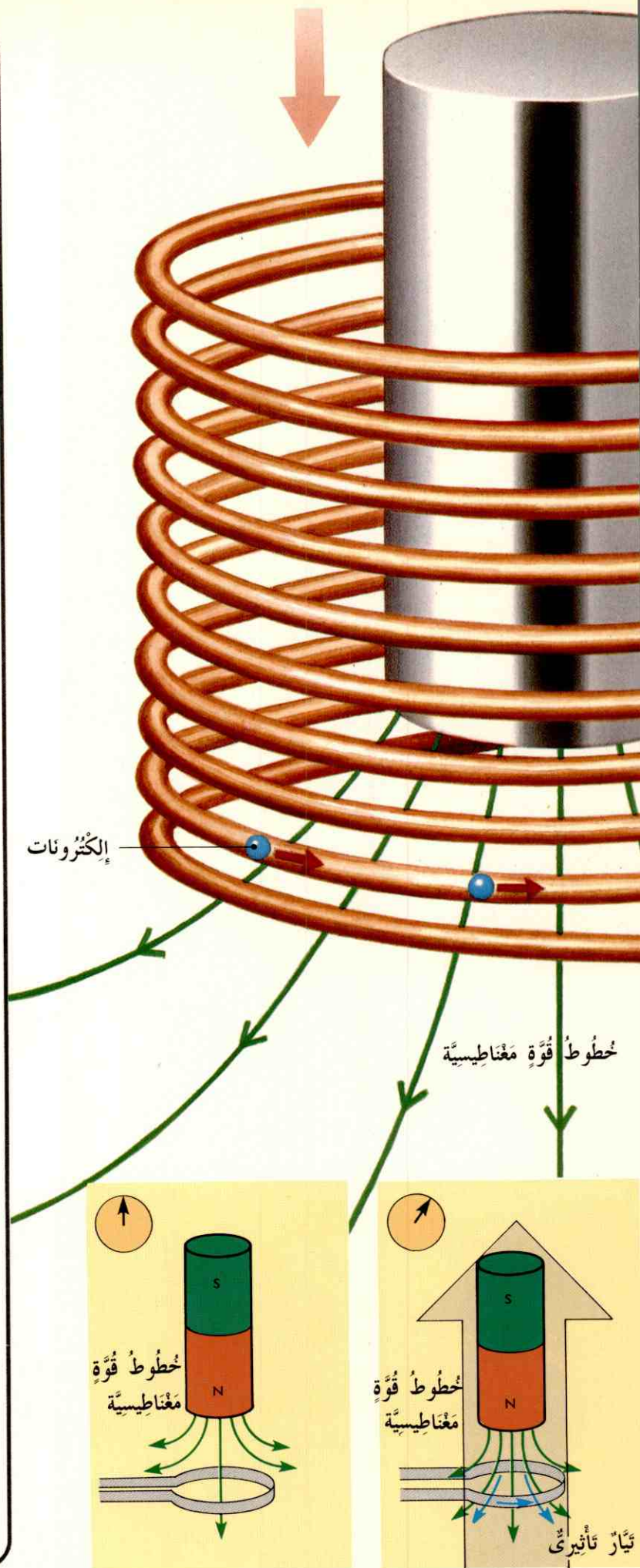
مِنَ الطَّرِيقِ الْأَقْتَصَادِيَّةِ لِتَوْلِيدِ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ قَوِيٍّ ، أَنْ يُسْتَعْدَمَ مَعْنَاطِيْسٌ وَاحِدٌ يَدُورُ مَرَّةً بَعْدَ مِلْفَاتٍ . وَفِي الْمُولِّدِ ثَلَاثِي الطُّورِ الْعَادِي (أَسْفَلَ) يُحِيطُ بِالْمَعْنَاطِيْسِ عَلَى أُبْعَادٍ مُتَسَاوِيَةٍ ثَلَاثُ مِلْفَاتٍ . وَكُلُّ مِلْفٍ يَنْتِجُ تَيَّارًا مُتَرَدِّدًا عِنْدَمَا يَمُرُّ بِهِ الْمَعْنَاطِيْسُ (الرَّسْمُ الْبَيَانِي أَسْفَلَ).



مُولِّدُ تَيَّارٍ مُتَرَدِّدٍ ثَلَاثِي الطُّورِ



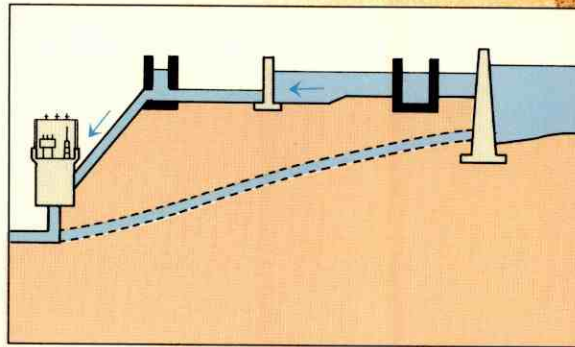
مُخْرَجَاتُ الْمِلْفَاتِ الثَّلَاثَةِ



كَيْفَ يَمْدُنَا الْمَاءُ بِالْكَهْرِبَاءِ ؟

اسْتَمَرَّ الْمَاءُ لِمُدَّةٍ طَوِيلَةٍ يَمُدُّ الْإِنْسَانَ بِالْقُدْرَةِ اللَّازِمَةِ لِمُوَاجَهَةِ أَحْتِيَاجَاتِهِ ، وَالْيَوْمَ تُنْتِجُ مِحَطَّاتُ التَّوْلِيدِ الْهَيْدُرُوكَهْرِيَّةِ حَوَالِي ٢٠٪ مِنْ إِتْجَاعِ الْكَهْرِبَاءِ فِي الْعَالَمِ . فَتَسْقُطُ الْمِيَاهُ مِنْ خَلْفِ سَدٍّ عَالٍ عَلَى عَوَارِضَ (رِيَشٍ) تُرْبِيْنَ عِمْلَاقٍ ، فَتُدِيرُهَا بِسُرْعَةٍ مِنْ ١٢٥ حَتَّى ٧٥٠ دَوْرَةٍ فِي الدَّقِيقَةِ . وَهَذِهِ الْعَوَارِضُ الدَّوَّارَةُ تُنْتِجُ الْقُدْرَةَ الْمِيكَانِيكِيَّةَ الَّتِي تُدِيرُ الْمَغْنَطِيسَ الضَّخْمَ فِي مُوَلِّدِ التِّيَّارِ الْمُتَرَدِّدِ . وَمِقْدَارُ الْقُدْرَةِ الْمُتَوَلَّدَةِ تَتَوَقَّفُ عَلَى غُلُوِّ مَنَسُوبِ الْمَاءِ ، أَيْ عَلَى مَسَافَةِ سُقُوطِ الْمَاءِ قَبْلَ اصْطِدَامِهِ بِالتَّرْبِيْنِ . وَقَدْ طَوَّرَ الْمُهَنْدِسُونَ مَنَاسِبَ اسْتِعْلَالِ قُدْرَةِ الْمَاءِ مِنْ مَنَسُوبٍ مُنْخَفِضٍ حَتَّى ٢٠ قَدَمًا ، وَمِنْ مَنَسُوبٍ مُرْتَفِعٍ حَتَّى ٥٨٠٠ قَدَمٍ .

تَوْلِيدُ قُدْرَةِ هَيْدُرُوكَهْرِيَّةٍ



مِحَطَّةُ الْقُوَى الْهَيْدُرُوكَهْرِيَّةِ يَجِبُ أَنْ تُحَوِيَ سَدًّا (أَعْلَى يَمِينٍ) لِحَجْزِ الْمَاءِ الْوَارِدِ مِنَ النَّهْرِ ، وَمَجْرَى تَوْصِيلٍ يَحْمِلُ الْمَاءَ إِلَى مِحَطَّةِ الْقُدْرَةِ (يَسَارٍ) .

مَجْرَى تَوْصِيلٍ

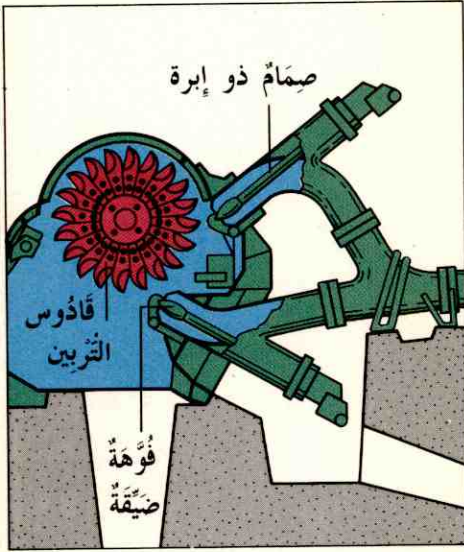
صَرَفُ الْمَاءِ

مَسَارُ الْمَاءِ

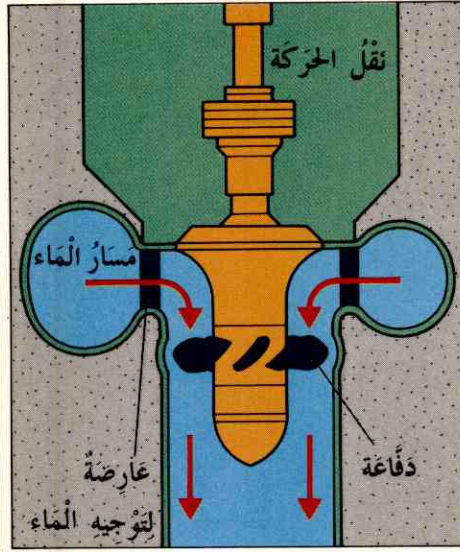
بُرْجُ التَّحْكُمِ فِي تَصْرِيفِ الْمَاءِ

تُرْبِينَانِ هَيْدُرُوكَهْرَبَيَّانِ

الْمَاءُ مُنْخَفِضُ الضَّغْطِ يُدِيرُ الدَّفَاعَةَ أَسْفَلَ تُرْبِينَ دَفْعِي يُرْشُ مَاءً عَالِي الضَّغْطِ عَلَى الْقَوَادِيسِ الدَّوَّارَةِ .
لِتُحَرِّكَ تُرْبِينَاً مَرُوحِيّاً .



تُرْبِينَ دَفْعِي



تُرْبِينَ مَرُوحِي



عَمُودُ إِذَارَةِ الْمُؤَلَّدِ

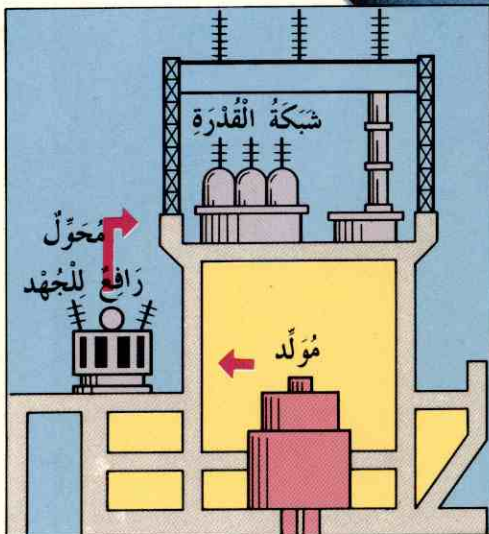
مُؤَلَّدُ هَيْدُرُوكَهْرَبِيّ

الْمَاءُ الْمَخْزُونُ خَلْفَ السَّدِّ يَمُرُّ خِلَالَ بُرْجِ التَّحْكُمِ (أَقْصَى يَمِينٍ)، ثُمَّ فِي مَجْرَى التَّوْصِيلِ إِلَى عَوَارِضِ تُرْبِينَ رَدِّ فِعْلِيٍّ . وَالْعَوَارِضُ الدَّوَّارَةُ تُدِيرُ مَغْنَطِيسًا كَهْرَبِيًّا حَوْلَ مَلَفِ الْمُؤَلَّدِ (أَعْلَى يَمِينٍ) .

تُرْبِينَ رَدِّ فِعْلِي

رِيشُ التُّرْبِينَ

دخول ماء إدارة التربين



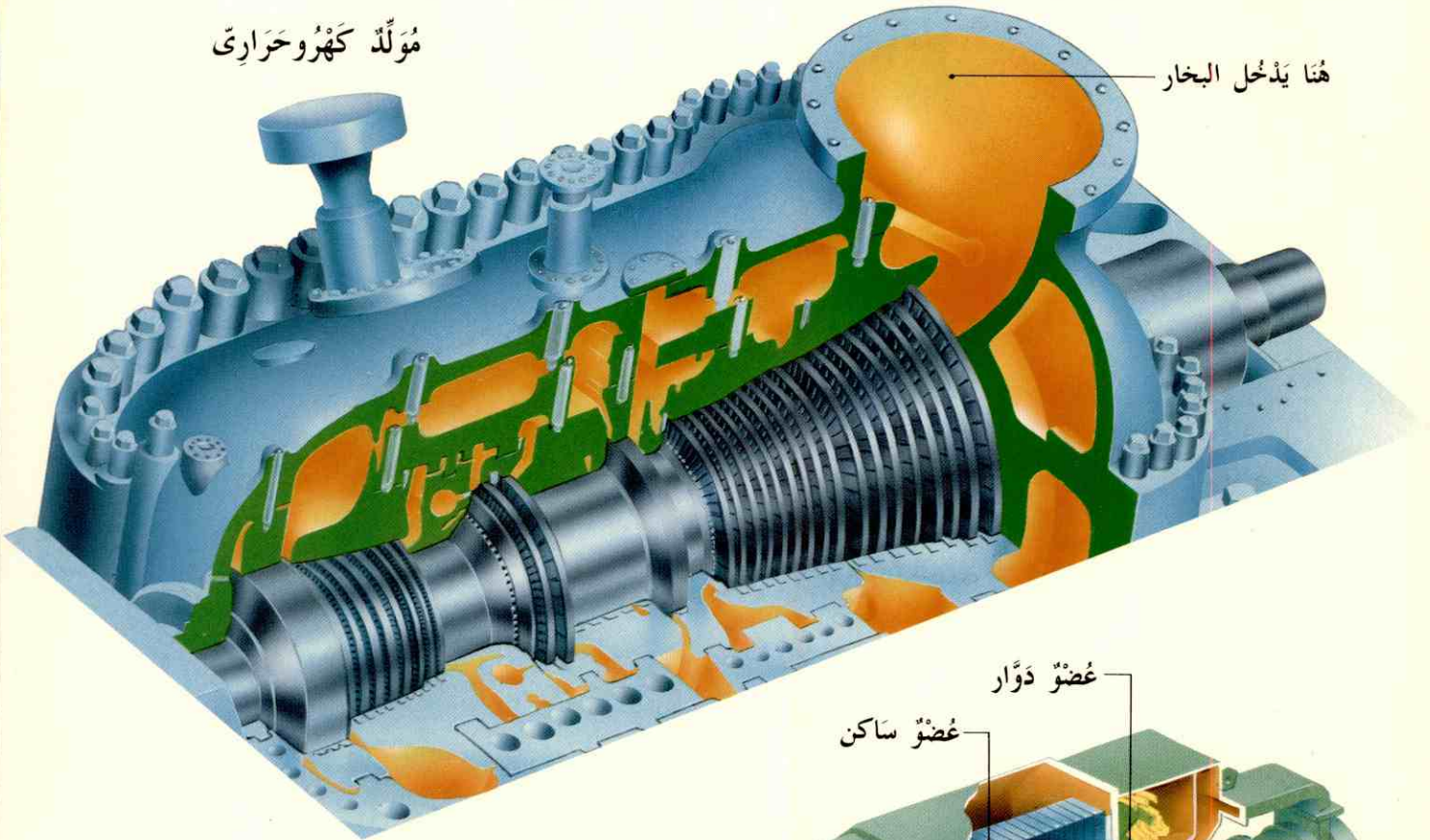
الْمُحَوِّلُ الرَّافِعُ لِلْجُهْدِ يَرْفَعُ جُهْدَ الْخُرْجِ مِنَ الْمُؤَلَّدِ إِلَى ٦٩٠٠٠ فُولْتِ ، وَيُرْسِلُهُ إِلَى شَبَكَةِ الْقُدْرَةِ الْمَحَلِّيَّةِ .

كيف تستخدم محطات القدرة الوقود الأحفوري؟

وَمَحَطَّاتُ الْقُدْرَةِ الْكَهْرُوحرارية الْحَدِيثَةُ تُسْتَفِيدُ مِنْ حَوَالَى ٤٠٪ مِنَ الطَّاقَةِ الْمُنْتَطَلَقَةِ مِنَ الْوُقُودِ الْمُشْتَعِلِ وَتُحَوِّلُهَا إِلَى كَهْرَبَاءَ ، وَيَفْقَدُ بَاقِي الطَّاقَةِ عَلَى شَكْلِ حَرَارَةٍ . وَمُعْظَمُ مَحَطَّاتِ الْقُدْرَةِ فِي أُرُوبَّا تُسْتَحْدَمُ الْحَرَارَةُ الْمَفْقُودَةُ فِي تَدْفِئَةِ الْمَنَازِلِ وَالْمَشْرُوعَاتِ التَّجَارِيَةِ الْقَرِيَةِ . وَإِنْتِاجُ الْحَرَارَةِ وَالْكَهْرَبَاءِ الْمُسْتَعْمَلَيْنِ يَرْفَعُ كَفَاءَةَ الطَّاقَةِ الْمُسْتَفَادِ بِهَا إِلَى ٨٠٪ .

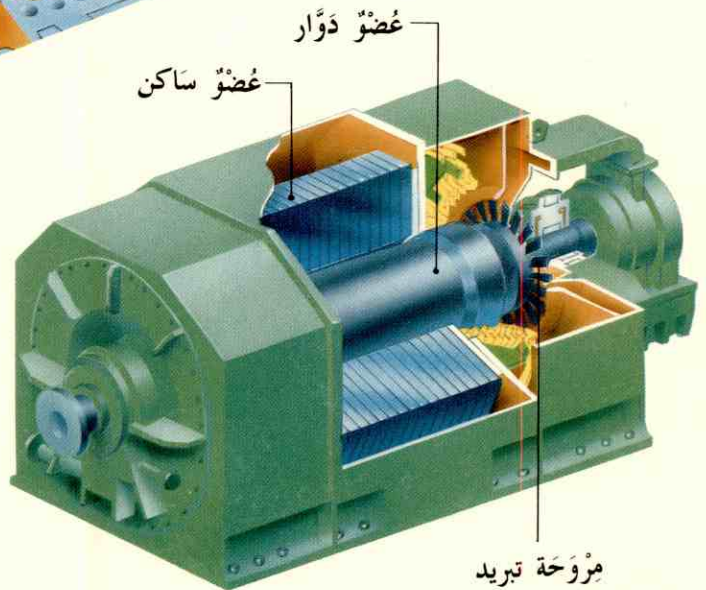
تُسْتَحْدَمُ مَحَطَّاتُ الْقُدْرَةِ الْكَهْرُوحرارية الطَّاقَةَ الْمُنْتَطَلَقَةَ مِنَ الْوُقُودِ الْأَحْفُورِيِّ الْمُشْتَعِلِ — مِثْلُ الْفَحْمِ وَزَيْتِ الْبُتْرُولِ وَالْغَازِ الطَّبِيعِيِّ — لِيُحَوَّلَ الْمَاءُ إِلَى بُخَارٍ عَالِي الضَّغْطِ . وَهَذَا الْبُخَارُ ، ذُو الضَّغْطِ حَوَالَى ٣٥٠٠ رِطْلٍ/بُوصَةٍ^٢ وَدَرَجَةِ الْحَرَارَةِ ٥٢٤ م (١٠٠٠ ف)، يُدِيرُ ثَرَبِيئًا . وَهَذَا الثَّرَبِيْنُ يُدِيرُ مَغْنَاطِيْسًا ضَخْمًا دَاخِلَ مُوَلِّدٍ ، فَتَتَوَلَّدُ الْكَهْرَبَاءُ .

مُوَلِّدُ كَهْرُوحراري

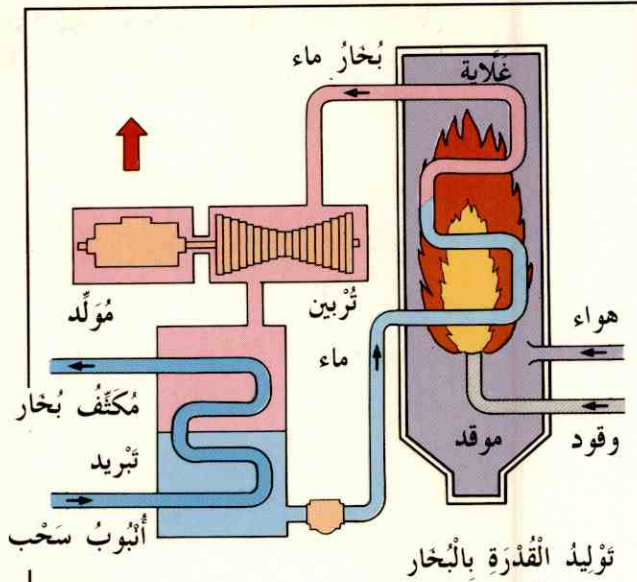


مَنْظَرٌ لِمَقْطَعِ مُوَلِّدٍ

الْمُوَلِّدُ التَّقْلِيدِيُّ (يَمِين) فِي مَحَطَّةِ الْقُدْرَةِ الْكَهْرُوحرارية تُدَارُ مُبَاشَرَةً بِبُخَارِ الثَّرَبِيْنِ الَّذِي يَدُورُ ٣٠٠٠ دَوْرَةً/دَقِيقَةً . وَفِي مِثْلِ هَذَا الْمُوَلِّدِ تَدُورُ الْمَغْنَاطِيْسَاتُ — وَتُسَمَّى الدَّوَّارَةُ — بَيْنَمَا لَا تَتَحَرَّكُ الْمِلَفَّاتُ — وَتُسَمَّى أَعْضَاءَ سَاكِئَةٍ . وَلِمَنْعِ السُّخُونَةِ الزَّائِدَةِ يُسْتَحْدَمُ نِظَامُ تَبْرِيدٍ .

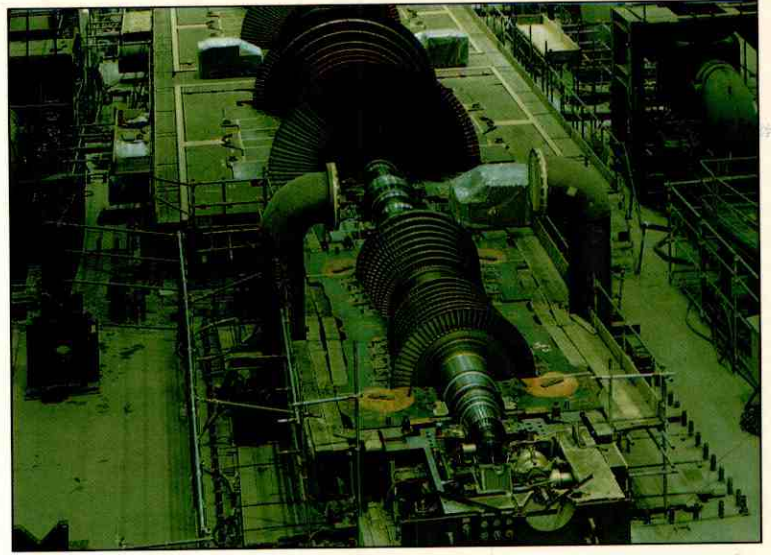


مِرْوَحَةُ تَبْرِيدٍ



توليد القدرة بالبخار

في محطة كهروحرارية، يُحرق الوقود في غلاية، فينتج لها شديدة الحرارة. وتحمّل الأنابيب الماء وسط اللهب، فيتحول الماء إلى بخار عالي الضغط. ويدير البخار توربينًا مولدًا طاقة ميكانيكية تحولها المولد إلى كهرباء. وبعد خروج البخار من التربين يمر في مكثف حيث يمر حول أنابيب تحمل ماء باردًا، فيتحول ثانية إلى ماء.

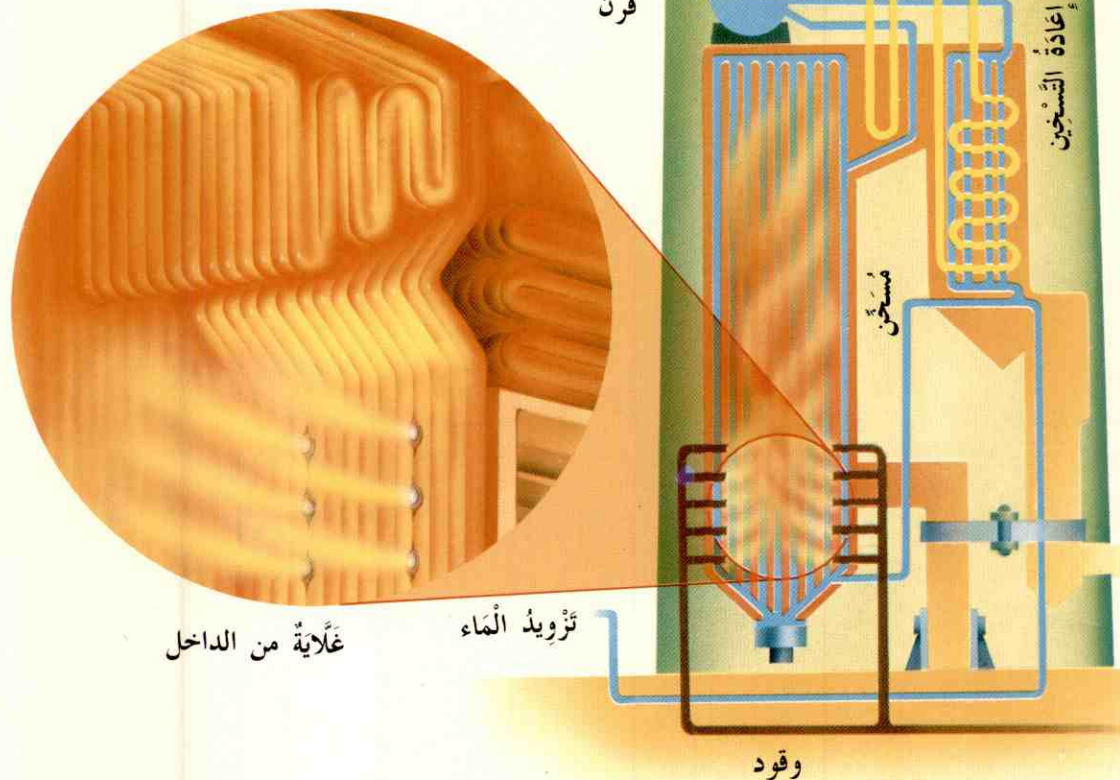


تظهر في هذا التربين البخاري عوارض الدفاعات.

تربين بخاري تقليدي (يمين) به مجموعتان من العوارض. و البخار عالي الضغط الوارد من الغلاية، يدخل غرفة التربين ويدير المجموعة الأولى من العوارض. ثم يعاد تسخين البخار ويدفع ثانية إلى غرفة التربين ليدير مجموعة ثانية من العوارض التي تعمل عند ضغط بخاري أقل.

غلاية بالفحم أو الغاز أو الزيت

إلى التربين
من التربين
إلى التربين
فرن



داخل غلاية

تمتلئ الغلاية بأنابيب حاملة للماء، مطوية فوق بعضها في عدة مرات. وبذلك تزداد كمية الحرارة المنتقلة إلى الماء لأقصى قدر ممكن، وبالتالي ينتج أكبر قدر من بخار الماء.

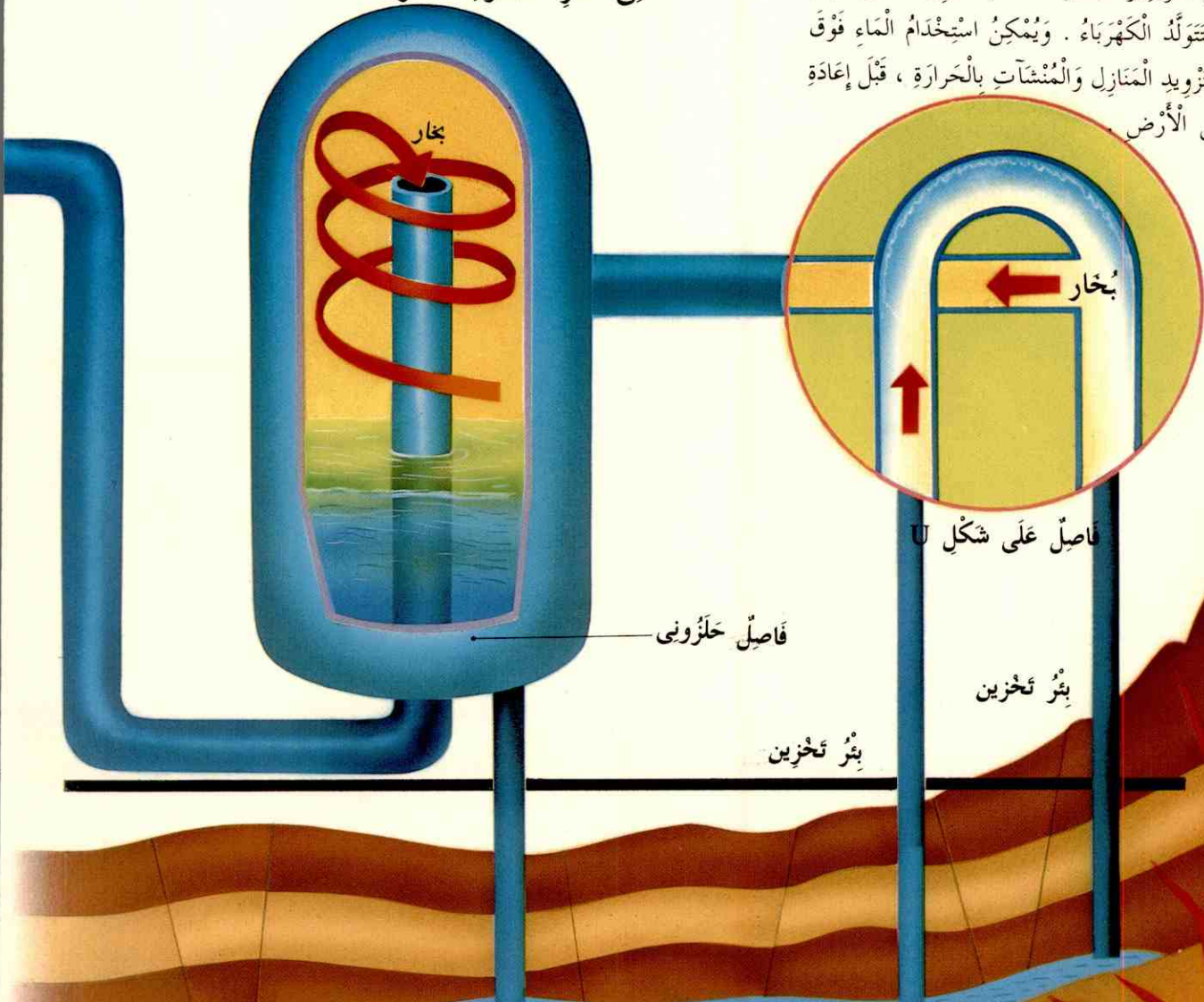
كيف يمكن توليد الكهرباء من الطاقة الجيوحرارية ؟

فَوْقَ الْحَمَّاتِ لَتَمُدَّهَا بِالْقُدْرَةِ كَمَا فِي كَالِيفُورْنِيَا وَنِيُوزِيلَنْدَا وَإِيطَالِيَا . وَهَذِهِ الْجُيُوبُ الطَّبِيعِيَّةُ مِنَ الْبُخَارِ نَادِرَةٌ عَلَى عُمُقِ مِيلٍ مِنَ السَّطْحِ ، وَلَكِنَّ الْحَفَرَ عَلَى عُمُقِ ١٠ أَمْيَالٍ فِي الْأَرْضِ قَدْ يَصِلُ إِلَى طَاقَةٍ جِيُوحَرَارِيَّةٍ وَيُولَدُ بُخَارًا فِي أَى مَكَانٍ يَلْزَمُ بِنَاءَ مَحْطَّةٍ قُدْرَةٍ فِيهِ .

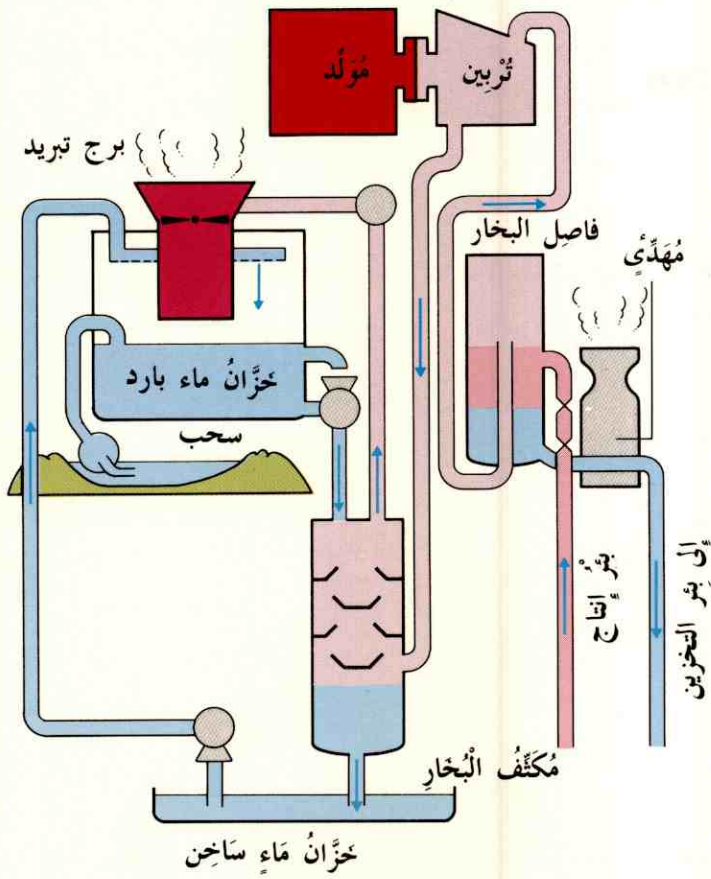
وَهُنَاكَ طَرِيقَتَانِ لِلتَّقْيِيبِ عَنْ هَذِهِ الطَّاقَةِ بِالْحَفْرِ إِلَى عُمُقِ ٥٠٠٠٠ قَدَمٍ أَوْ أَكْثَرَ . إِمَّا حُفْرَةً قَطَرُهَا حَوَالَى ٢ قَدَمٍ . وَيُصَبُّ الْمَاءُ الْبَارِدُ فِيهَا ، فَتَسَخَّنُهُ الصُّخُورُ الْمُحِيطَةُ ، وَيَعُودُ كَبُخَارٍ خِلَالَ أَثْبُوبٍ دَاخِلِيٍّ مَعْزُولٍ . أَوْ حُفْرًا مُتَعَدِّدَةً أَضْيِيقُ . وَيُضَخُّ الْمَاءُ دَاخِلَ إِحْدَاهَا ، وَيَتَخَلَّلُ الْمَاءُ الصُّخُورَ السَّاخِنَةَ ، ثُمَّ يَعُودُ إِلَى السَّطْحِ كَبُخَارٍ خِلَالَ أَثَابِيْبٍ مَعْزُولَةٍ فِي حُفْرِ الصُّغُودِ الْأُخْرَى .

يُوجَدُ عَلَى عُمُقِ ١٠ أَمْيَالٍ تَحْتَ سَطْحِ الْأَرْضِ ، مَصْدَرٌ لَأَنْهَائِيٍّ مِنَ الطَّاقَةِ يُنْتَظَرُ اسْتِعْلَالُهُ ، وَهُوَ طَاقَةُ الصُّخُورِ الْجَوْفِيَّةِ الْمَعْرُوفَةِ بِالطَّاقَةِ الْجِيُوحَرَارِيَّةِ الَّتِي تَصِلُ دَرَجَةُ حَرَارَتِهَا إِلَى ٤٢٠°م أَوْ أَكْثَرَ . وَقَدْ تُحَوَّلُ الْمِيَاءُ الْجَوْفِيَّةُ إِلَى بُخَارٍ سَاخِنٍ . وَيَنْدَفِعُ مِنْ حَمَّاتٍ (عِيُونِ الْمَاءِ السَّاخِنِ) مِثْلَ نَافُورَةِ أَوْلَدٍ فِيثُفَلٍ فِي يُلُوسْتُونِ بَارِكٍ بِالْوَلَايَاتِ الْمُتَّحِدَةِ . وَتُبْنَى مَحْطَّاتُ تَوْلِيدِ الْكَهْرَبَاءِ بِالتَّرْيِينَاتِ الْبُخَارِيَّةِ

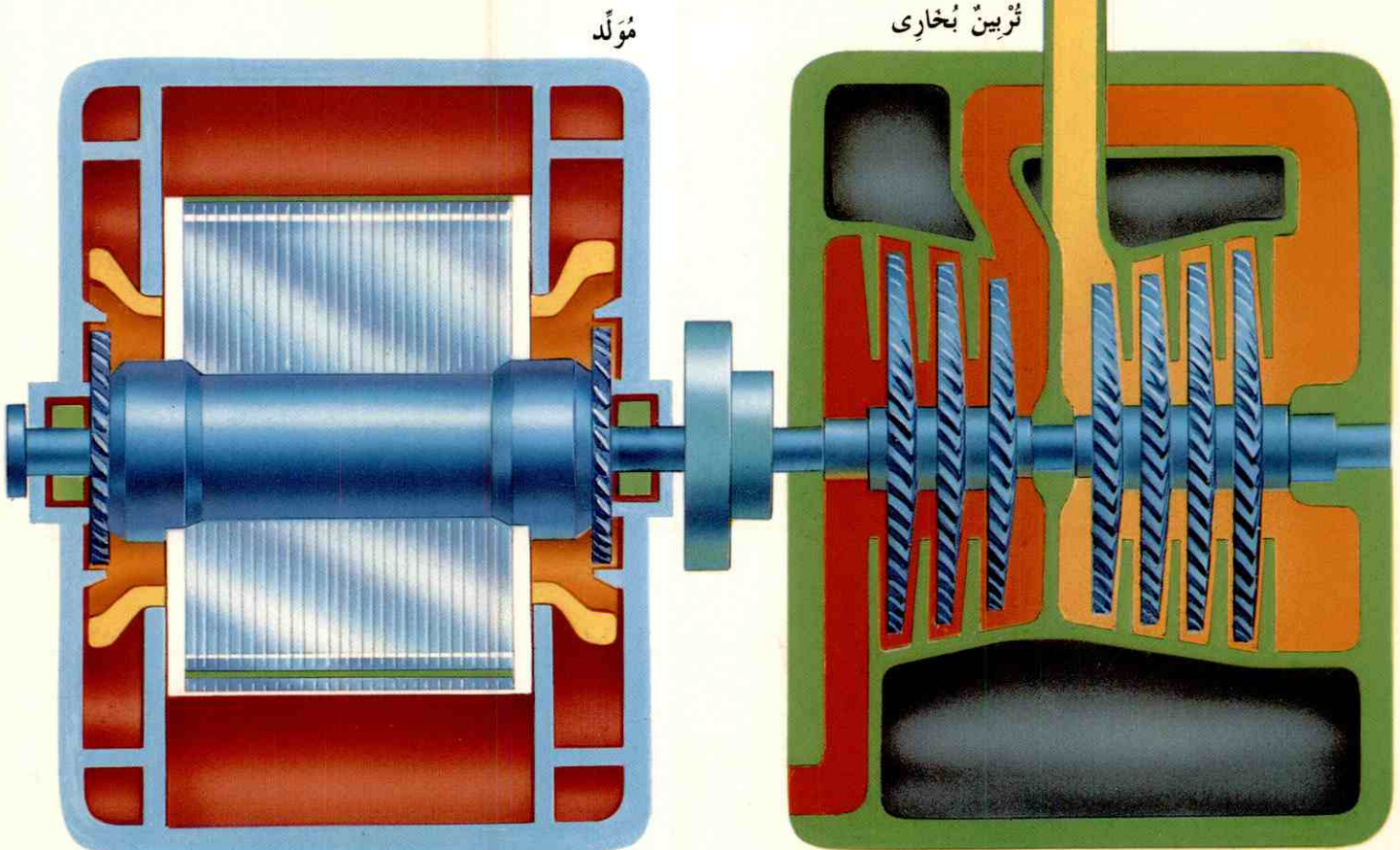
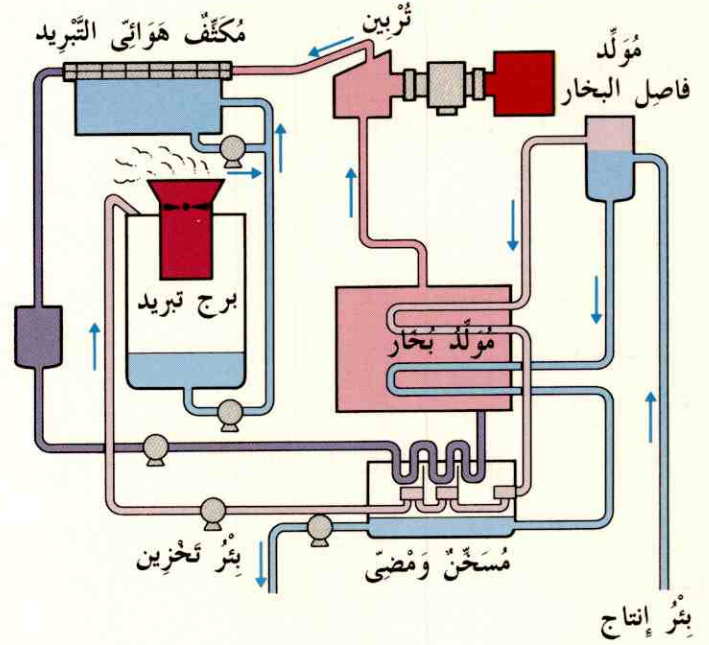
الْحُصُولُ عَلَى بُخَارٍ مِنَ الْأَرْضِ
الْمَاءُ الَّذِي يُضَخُّ فِي بئرٍ جِيُوحَرَارِيٍّ يَعُودُ إِلَى السَّطْحِ كَبُخَارٍ عَالِيِ الضَّغْطِ وَمَاءٍ فَوْقَ مُسَخَّنٍ (أَسْفَلٍ) . وَيَمُرُّ هَذَا الْخَلِيطُ فِي فَاصِلٍ حَلَزُونِيٍّ يَحْجِزُ الْمَاءَ وَيَمُرُّ الْبُخَارُ إِلَى التَّرْبِينِ . وَيُدِيرُ الْبُخَارُ دَفَاعَاتِ التَّرْبِينِ ، الَّتِي تُدِيرُ الْمُؤَلَّدَ ، فَتَتَوَلَّدُ الْكَهْرَبَاءُ . وَيُمْكِنُ اسْتِخْدَامُ الْمَاءِ فَوْقَ الْمُسَخَّنِ لِتَزْوِيدِ الْمَنَازِلِ وَالْمُنْشَآتِ بِالْحَرَارَةِ ، قَبْلَ إِعَادَةِ ضَخِّهَا إِلَى الْأَرْضِ .



نوراً الشمس = البخار
تستخدم هذه المحطة البخار (بنفسجي فاتح) الذي يفصل عن
الماء الساخن (وردي) عند بئر الإنتاج ، ثم يستخدم لإدارة
التربين . ويعاد الماء إلى الأرض . ويبرد البخار في النهاية ثم
يعاد استخدامه كماء .



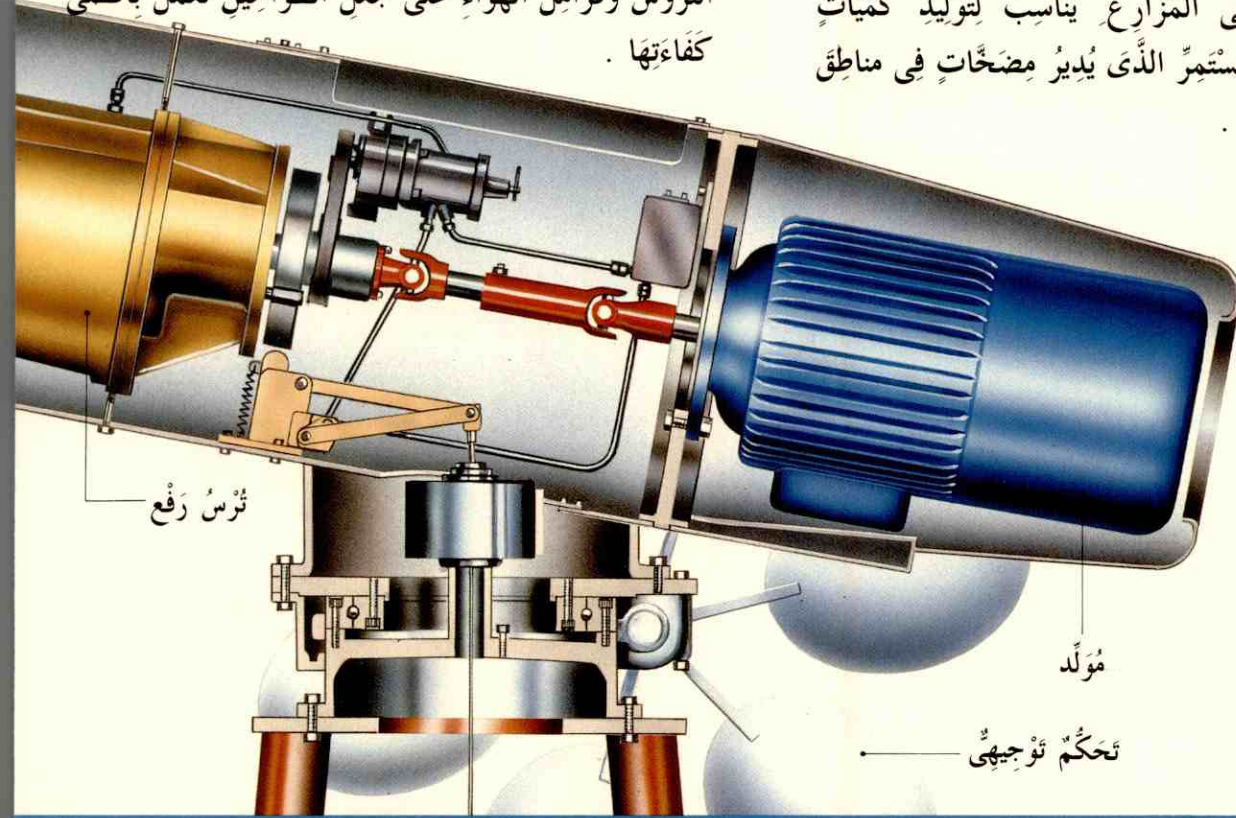
مولد مولد
هذه المحطة تولد الكهرباء بماء جيوحراري ساخن يُعحر مركباً
كيميائياً (وردي) درجة غليانه أقل بكثير من درجة غليان الماء .
وضغط البخار المركب يُدير تريناً .



كيف نستخدم الرياح كمصدرٍ للطاقة ؟

وَتَتَكَوَّن الطَّاحُونَةُ الْهَوَائِيَّةُ الْأَسَاسِيَّةُ مِنْ : رِيشَةٍ أَوْ أَكْثَر ،
وَالْيَّةِ لِحِفْظِ الرِّيشِ دَوَّارَةً بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ فِي مُوَاجَهَةِ الرِّيحِ
الْمُتَغَيِّرَةِ ، وَمُولِدٍ . وَأَشْهُرُ أَنْوَاعِ طَوَاحِينِ الْهَوَاءِ
اسْتِخْدَامًا (أَسْفَلَ) لَهَا رِيشٌ وَثَنِيَّةٌ مَرُوحَةٌ طَائِرَةٌ مَوْضُوعَةٌ
عَلَى عَمُودٍ طَوِيلٍ . وَلَكِنَّهَا تُغَيَّرُ شَكْلُهَا طَبَقًا لِلرِّيحِ
الْمُتَغَيِّرَةِ ، وَهُوَ مَا لَا تَفْعَلُهُ مَرُوحَةُ الطَّائِرَةِ . وَتُصَمَّمُ هَكَذَا
لِأَنَّ طَوَاحِينَ الْهَوَاءِ الَّتِي تَكُونُ جُزْءًا مِنْ شَبَكَةِ مَصْنَعٍ
يَلْزَمُ أَنْ تَعْمَلَ بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ لِتُنْتِجَ تِيَارًا مُنْتَظَمًا . وَتُسَاعِدُ
التُّرُوسُ وَفَرَامِلُ الْهَوَاءِ عَلَى جَعْلِ الطَّوَاحِينِ تَعْمَلُ بِأَفْصَى
كِفَاءَتِهَا .

فِي أَجْزَاءِ كَثِيرَةٍ مِنَ الْعَالَمِ — مِنْهَا كَالِيفُورْنِيَا وَغَرْبُ
وَسْطِ الْوِلَايَاتِ الْمُتَّحِدَةِ — تَتَوَافَرُ الرِّيحُ السَّرِيعَةُ الْكَافِيَّةُ
لِتَوْفِيرِ مَصْدَرٍ رَخِيسٍ وَيُعْتَمَدُ عَلَيْهِ مِنَ الطَّاقَةِ غَيْرِ الْمَوْلُوتَةِ
لِإِتْجَاعِ الْكَهْرَبَاءِ . وَلِلطَّوَاحِينِ الْهَوَائِيَّةِ أَشْكَالٌ وَأَحْجَامٌ
مُخْتَلِفَةٌ ، يُصَمَّمُ كُلٌّ مِنْهَا لِمَكَانٍ وَعَمَلٍ مُحَدَّدَيْنِ .
فَمَثَلًا ، طَوَاحِينُ دَارِيُوسَ ، الَّتِي لَهَا غُصْنٌ دَوَّارٌ يُشْبِهُ
مَضْرِبَ الْبَيْضِ ، تَعْمَلُ بِكِفَاءَةٍ عَالِيَةٍ عِنْدَ هُبُوبِ الرِّيحِ
الْعَالِيَةِ السَّرِيعَةِ . وَنَوْعُ الطَّوَاحِينِ ذَاتِ الْأَرْبَعِ أَوْ الثَّمَانِي
رِيشٍ الْمُسْتَحْدَمُ فِي الْمَزَارِعِ يُنَاسِبُ لِتَوَلِيدِ كَمِّيَّاتٍ
صَغِيرَةٍ مِنَ التِّيَّارِ الْمُسْتَمَرِّ الَّذِي يُدِيرُ مِضْحَاتٍ فِي مَنَاطِقِ
ذَاتِ رِيحٍ مُعْتَدِلَةٍ .

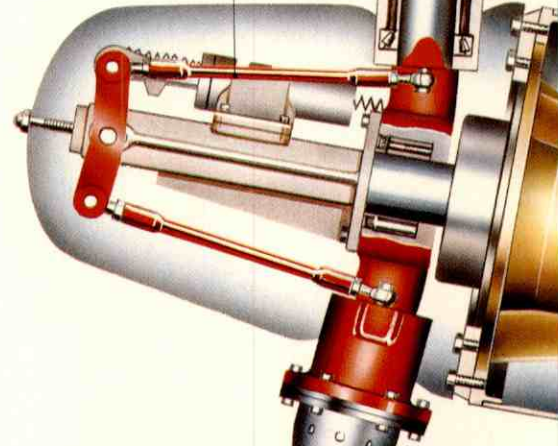


الطَّاحُونَةُ الْهَوَائِيَّةُ دَارِيُوسَ
يُزَوِّدُ دَوَّارَ دَارِيُوسَ بِشَفَرَتَيْنِ رَاسِيَّتَيْنِ مَقُوسَتَيْنِ
تُدَوِّرَانِ حَوْلَ عَمُودِ الْقُدْرَةِ . وَيَقَلِّلُ الْأَحْيَاكَ
خَافَةً مُسْتَدِيرَةً أَمَامِيَّةً مُوَجَّهَةً وَخَافَةً حَادَّةً .
وَدَوَّارُ دَارِيُوسَ يَعْمَلُ بِطَرِيقَةٍ أَفْضَلَ فِي الرِّيحِ
الْقَوِيَّةِ .



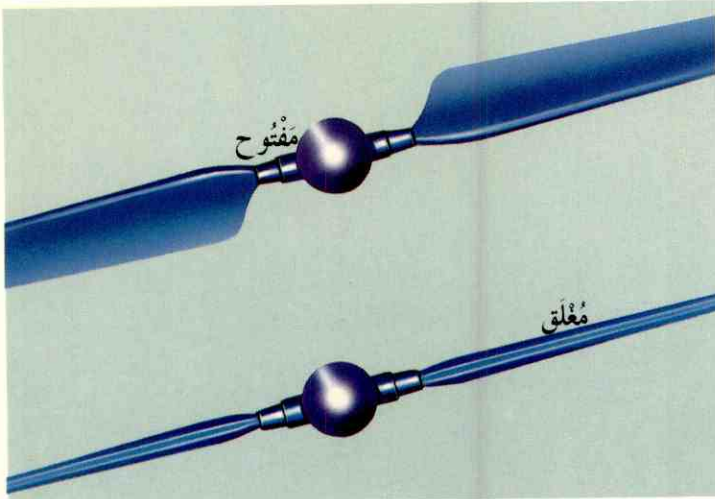
هَذِهِ الْمَزْرَعَةُ الْهَوَائِيَّةُ فِي
كَاليفُورْنِيَا الشَّمَالِيَّةِ بِهَا عَشْرَاتُ
الْطَّوَاجِينِ الْهَوَائِيَّةِ الَّتِي تُحَوِّلُ
الرِّيحَ الْقَوِيَّةَ بِالْمَنْطِقَةِ إِلَى
كَهْرَبَاءَ . وَكُلُّ طَاحُونَةٍ يُحَدِّدُ
مَكَانَهَا بِعِنَايَةٍ بِحَيْثُ لَا تَمْنَعُ
الْقُوَّةَ الْكَامِلَةَ لِلرِّيحِ مِنْ
الْوُصُولِ إِلَى الطَّوَاجِينِ
الْأُخْرَى .

مُتَحَكِّمٌ يُغَيِّرُ الْخُطْوَةَ

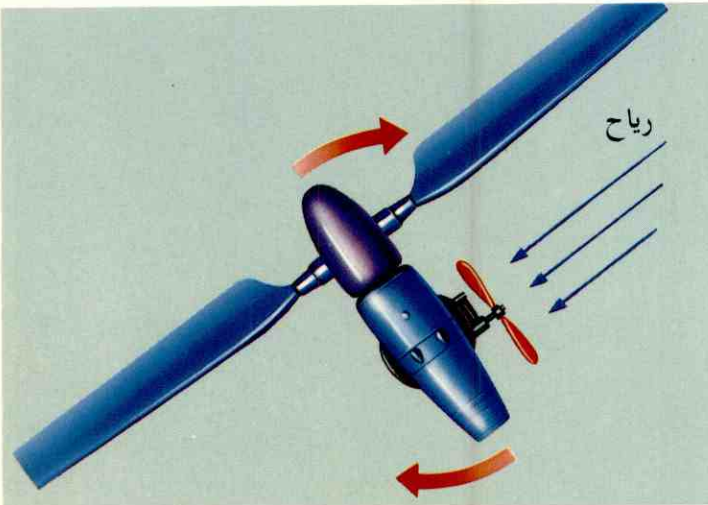


رِيشَةُ طَاحُونَةٍ هَوَائِيَّةٍ

التَّكْيُفُ مَعَ الرِّيحِ الْمُتَغَيِّرَةِ



فِي الرِّيحِ الضَّعِيفَةِ ، تُفْتَحُ (عُلْوَى) رِيشُ الطَّاحُونَةِ الْهَوَائِيَّةِ لِتَجْمَعَ أَكْثَرَ
قُدْرٍ مِنْ طَاقَةِ الرِّيحِ . وَعِنْدَمَا تَزْدَادُ قُوَّةُ الرِّيحِ ، تُغْلَقُ (سُفْلَى) الرِّيشُ
حَتَّى لَا تَتَدَوَّرَ بِسُرْعَةٍ كَبِيرَةٍ .



مَرْوَحَةٌ صَغِيرَةٌ عَلَى طَاحُونَةٍ تُحَكِّمُ تَوَجِيهَ تَحْفَظُ الْمَرْوَحَةُ الرَّئِيسِيَّةَ
مُوَاجِهَةً لِلرِّيحِ . وَهَذَا يُسَاعِدُ الطَّاحُونَةَ الْهَوَائِيَّةَ عَلَى اسْتِقْبَالِ طَاقَةِ الرِّيحِ
بِكِفَاءَةٍ أَكْبَرِ .



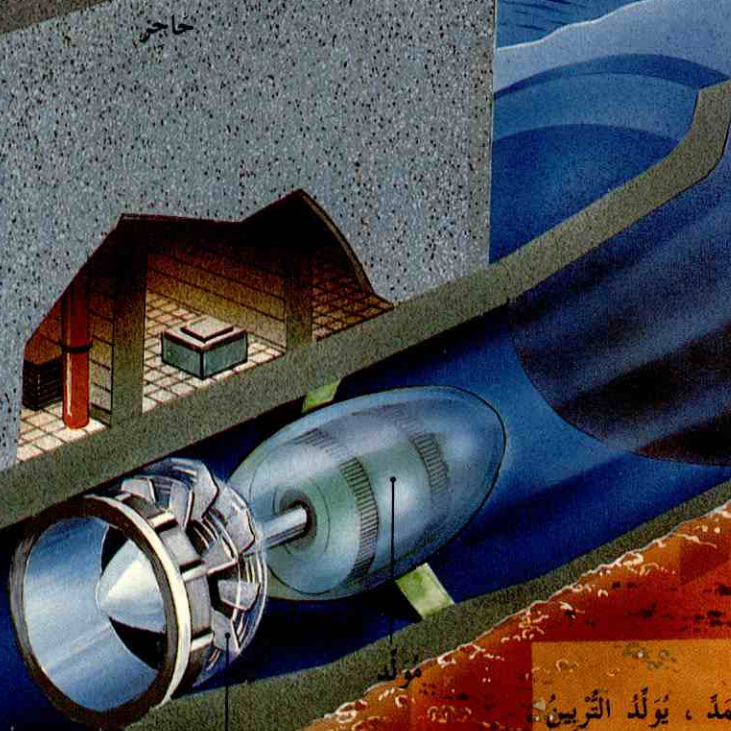
كيف يستفاد من قدرة المحيط ؟

وَقُدْرَةُ الْأَمْوَاجِ تَسْتُحْدِمُ أَيْضًا الْحِسَارَ وَسَرَيَانَ الْمَاءِ لِإِدَارَةِ تَرْبِيْنٍ مُثَبَّتٍ دَاخِلَ عَوَامَةٍ بِدُونِ قَاعٍ . وَعِنْدَمَا تَنْتَفِخُ الْأَمْوَاجُ تَحْتَ الْعَوَامَةِ ، فَإِنَّهَا تَدْفَعُ الْهَوَاءَ إِلَى رِيَشٍ (عَوَارِضٍ) التَّرْبِيْنِ مَرَّتَيْنِ : مَرَّةً عِنْدَمَا يَكُونُ الْمَاءُ مُرْتَفِعًا ، وَأُخْرَى عِنْدَمَا يَنْخَفِضُ الْمَاءُ .

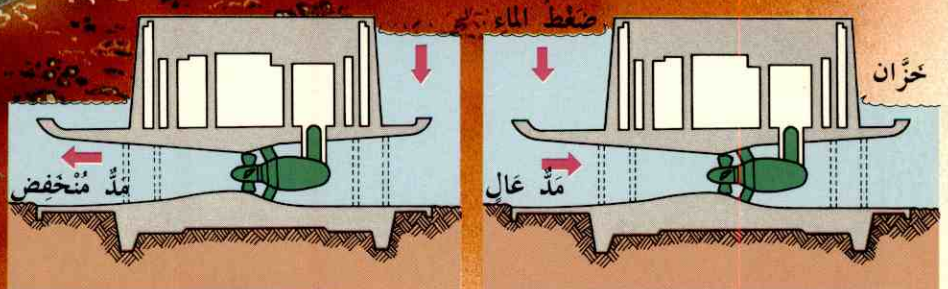
وَتُولِدُ الْقُدْرَةُ الْحَرَارِيَّةُ لِلْمُحِيطِ يَسْتَعْمِلُ الْفَرْقَ الْكَبِيرَ فِي دَرَجَاتِ الْحَرَارَةِ بَيْنَ سَطْحِ الْمُحِيطِ وَأَعْمَاقِهِ لِتَبْخِيرِ وَتَكثِيفِ سَائِلٍ يَتَبَخَّرُ فِي دَرَجَةِ حَرَارَةٍ مُنْخَفِضَةٍ . وَبِخَارٍ هَذَا السَّائِلِ يُلَبِّدُ تَرْبِيْنًا .

يُمْكِنُ أَنْ يُؤْخَذَ مِنَ الْمُحِيطِ ثَلَاثُ صُورٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الطَّاقَةِ : مَدِّيَّةٌ ، وَمَوْجِيَّةٌ ، وَحَرَارِيَّةٌ . وَلِلْحُصُولِ عَلَى طَاقَةِ الْمَدِّ يُنْبَى حَاجِزٌ خَنْدَقِيٌّ وَعَرْضِيٌّ عَلَى مَصَبِّ النَّهْرِ (أَسْفَلَ) . وَتُوضَعُ فِي الْأَنْفَاقِ الَّتِي تَخْتَرِقُهُ تَرْبِيْنَاتٌ وَمُولِدَاتٌ فَيَنْدَفِعُ الْمَاءُ خِلَالَ الْأَنْفَاقِ إِلَى الْجَانِبِ مُنْخَفِضِ الْمَاءِ ، وَيُدِيرُ التَّرْبِيْنُ أَثْنَاءَ انْدِفَاعِهِ . وَعِنْدَمَا يَحْدُثُ الْجَزْرُ ، يَكُونُ مُسْتَوَى الْمَاءِ عَلَى جَانِبِ الْحَاجِزِ الْمَوَاجِهِ لِلنَّهْرِ أَعْلَى مِنْهُ عَلَى الْجَانِبِ الْآخَرَ . فَيَعُودُ الْمَاءُ خِلَالَ الْأَنْفَاقِ فِي الْإِتِّجَاهِ الْمُضَادِّ ، مُنْتِجًا مَزِيدًا مِنَ الْكَهْرَبَاءِ .

■ مَحْطَّةٌ تُولِدُ قُدْرَةَ الْمَدِّ

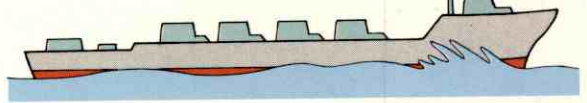


● الاستفادَةُ مِنَ الْمَدِّ فِي مَحْطَّةِ تُولِيدِ قُدْرَةِ الْمَدِّ ، يُولَدُ التَّرْبِيْنُ الْكَهْرَبَاءِ سِوَاءَ أَكَانَ الْمَدُّ قَادِمًا (أَسْفَلَ يَمِين) أَوْ مُنْحَسِرًا (أَسْفَلَ يَسَار) .



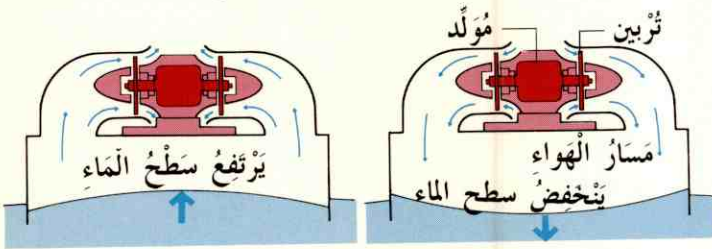
الحصول على قُدرة الأمواج

الماء الهابط (يسار) أسفل عوامة توليد قُدرة الأمواج ،
يسحب الهواء إلى أسفل ليُمَرَّ على الريش المُزدوجة
للتربين . وموجة الماء (أقصى يسار) تَطْرُدُ الهواءَ فيدورُ
التربين في الاتجاه المضاد . وهذه السفينة منصّة لمثل
هذه المولدات .



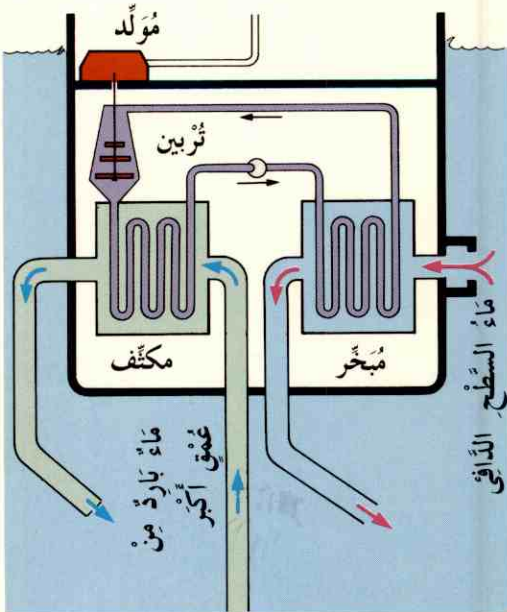
ذروة الأمواج

هبوط الأمواج



طاقة حرارية من المحيط

حرارة سطح الماء كافية لتبخير سائل درجة غليانه
منخفضة مثل الشادر . وبخار الشادر يُديرُ تربينا ،
ثم يتكثف بإمراره في ماء بارد .



كَيْفَ يَعْمَلُ الْمَفَاعِلُ النَّوَوِيُّ؟

الدَّرَّةُ . وَتَصْطَدِّمُ هَذِهِ النِّيُوتْرُونَاتِ بِذَرَّاتِ يُوْرَانِيُومٍ ٢٣٥ أُخْرَى ، فَتَشْتَطِرُهَا ، وَيَنْطَلِقُ عَدَدٌ أَكْبَرُ مِنَ النِّيُوتْرُونَاتِ الَّتِي تُنتِجُ تَفَاعُلًا مُتَسَلِّسًا ، هُوَ مَصْدَرُ دَائِمٍ لِلطَّاقَةِ . وَلِلتَّحَكُّمِ فِي هَذَا التَّفَاعُلِ الْمُتَسَلِّسِ ، تُسْتَخْدَمُ قُضْبَانٌ مِنَ الْبُورُونِ أَوْ الْكَادَمِيُومِ الَّتِي تَمْتَصُّ النِّيُوتْرُونَاتِ ، وَذَلِكَ بِإِثْرَالِهَا إِلَى الْقَلْبِ .

مُفَاعِلُ الْقُدْرَةِ النَّوَوِيَّةِ هُوَ أَكْثَرُ صُورِ الطَّاقَةِ الْمُسْتَخْدَمَةِ الْيَوْمَ تَرْكِيزًا . وَيُوضَعُ الْقَلْبُ الْمُشْعُ فِيهِ دَاخِلَ وَعَاءٍ مِنَ الصُّلْبِ سُمْكُ جُدْرَانِهِ ٦ بُوصَاتٍ . وَيَحْتَوِي الْقَلْبُ عَلَى كُرَيَّاتٍ مُقْلَطَحَةٍ سُمْكُ ٢/١ بوصةٍ مِنْ يُوْرَانِيُومٍ ٢٣٥ مَرَّصُوعَةٍ دَاخِلَ عَشْرَاتٍ مِنْ أَتَائِبِ صُلْبٍ لَا يَصْدَأُ طُولُ كُلِّ مِنْهَا ١٠ أَقْدَامٍ . وَتَنْشَطِرُ ذَرَّاتُ الْيُوْرَانِيُومِ ، وَمَعَ كُلِّ ذَرَّةٍ تَنْشَطِرُ تَنْطَلِقُ كَمِّيَّاتٌ هَائِلَةٌ مِنَ الطَّاقَةِ . فَانْشِطَارُ ١ جَمٍ مِنَ الْيُوْرَانِيُومِ ٢٣٥ يُطْلِقُ طَاقَةً تُعَادِلُ احْتِرَاقَ أَكْثَرِ مِنْ ٥٠٠ جَالُونٍ مِنْ زَيْتِ الْبِشْرُولِ . وَالْمَاءُ الَّذِي يَمُرُّ خِلَالَ الْقَلْبِ يُسَخَّنُ مَصْدَرًا آخَرَ لِلْمِيَاهِ يُكَوِّنُ الْبُخَارَ الَّذِي يُدِيرُ ثَرْبِنًا .

وَبِالإِضَافَةِ لِتَوْلِيدِ الطَّاقَةِ ، فَإِنَّ انْشِطَارَ الْيُوْرَانِيُومِ ٢٣٥ يُطْلِقُ نِيُوتْرُونَاتٍ ، وَهِيَ أَحَدُ الْمَكُونِينَ الْأَسَاسِيِّينَ لِنَوَاةِ

قَلْبُ الْمَفَاعِلِ

مَوْلِدُ الْبُخَارِ

مُفَاعِلُ نَوَوِيٍّ

ضَغْطُ مُنْظَمٍ

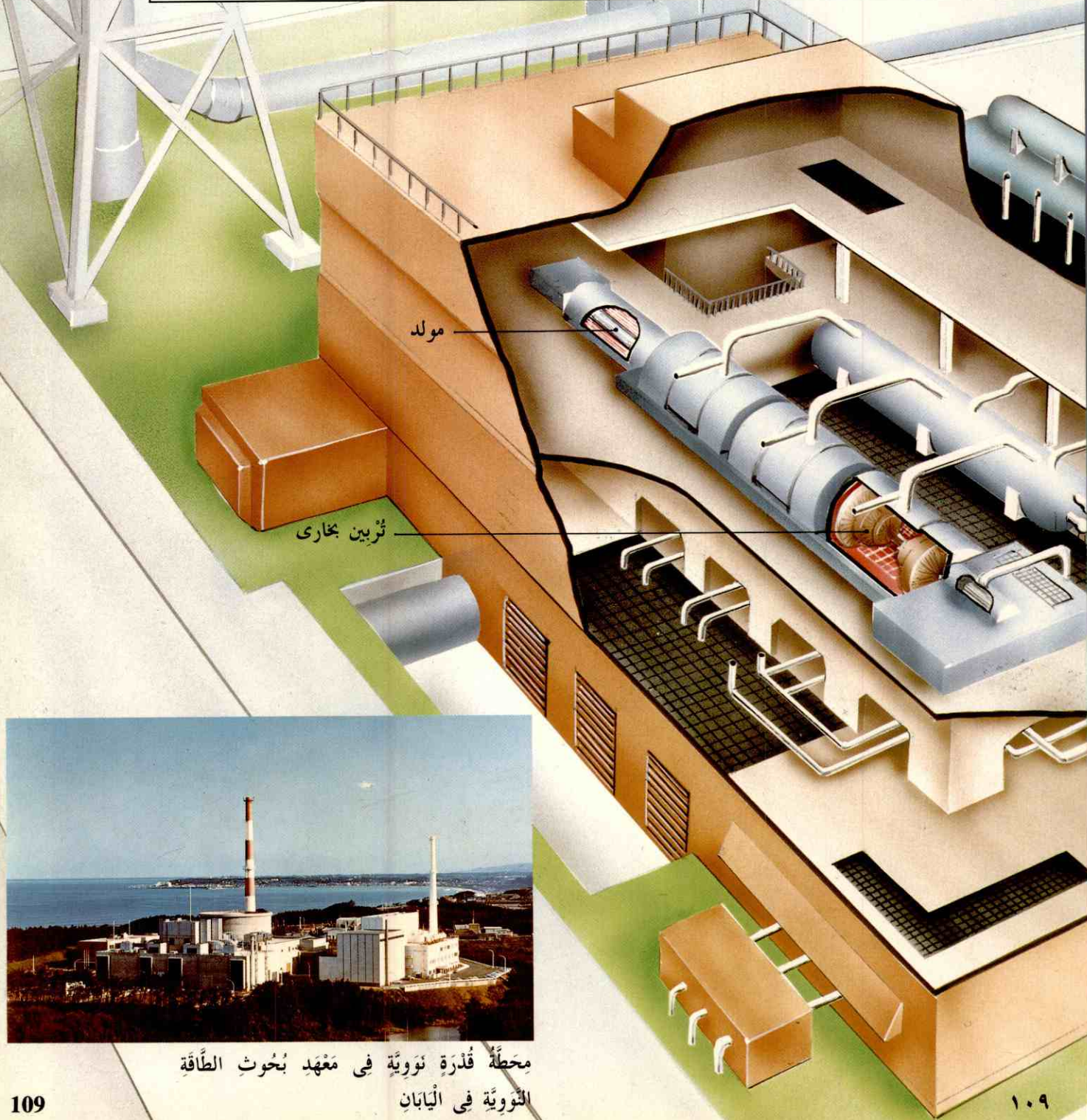
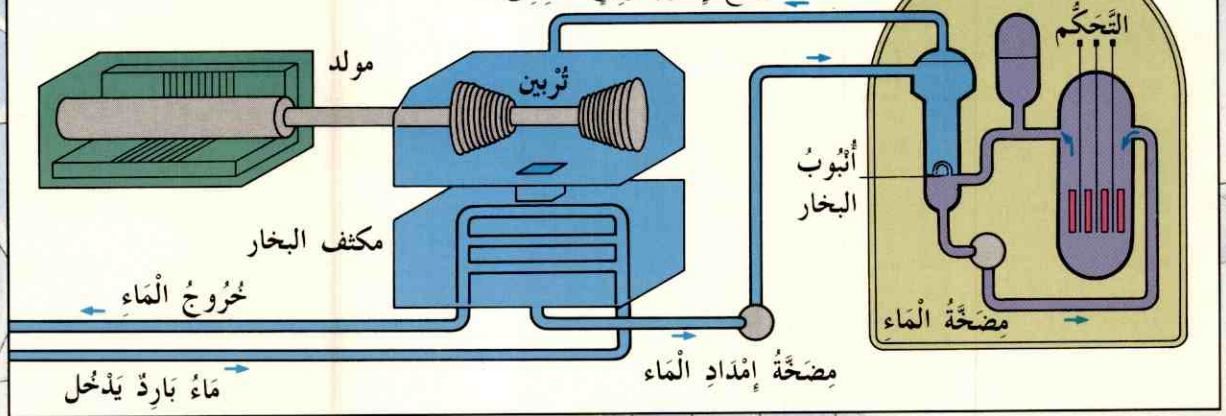


التَّفَاعُلُ الْمُتَسَلِّسُ لِيُوْرَانِيُومٍ ٢٣٥

عِنْدَ اصْطِدْامِ نِيُوتْرُونٍ بِذَرَّةٍ يُوْرَانِيُومٍ ٢٣٥ ، فَإِنَّهَا تَنْشَطِرُ إِلَى ذَرَّتَيْنِ أَصْغَرَ . وَهَذَا هُوَ الانْشِطَارُ النَّوَوِيُّ . وَعِنْدَمَا تَنْشَطِرُ ذَرَّةٌ يُوْرَانِيُومٍ ٢٢٥ ، فَإِنَّهَا تُطْلِقُ نِيُوتْرُونَانِ أَوْ ثَلَاثَةً يُمَكِّنُهَا الْاصْطِدْامُ بِذَرَّاتٍ أُخْرَى مِنْ يُوْرَانِيُومٍ ٢٣٥ ، لِيَبْدَأَ تَفَاعُلٌ مُتَسَلِّسٌ أَوْ انْشِطَارٌ مُتَسَلِّسٌ .



يُطْلَقُ الانْتِشَارُ النَّوَوِيُّ كَمِّيَّاتٍ هَائِلَةً مِنَ الطَّاقَةِ دَاخِلَ قَلْبِ الْمُفَاعِلِ . وَالْمَارُّ
خِلَالَ الْقَلْبِ السَّاحِنِ يُسْتَخْدَمُ لِتَسْخِيقِ مَصْدَرِ آخَرٍ لِلْمِيَاهِ وَيُحوَّلُهُ إِلَى بُخَارٍ ،
يُدْفَعُ لِإِدَارَةِ تَرْبِينٍ خَارِجِيٍّ .



مِحْطَةُ قُدْرَةِ نَوَوِيَّةٍ فِي مَعْهَدِ بَحْوثِ الطَّاقَةِ
النَّوَوِيَّةِ فِي الْيَابَانِ

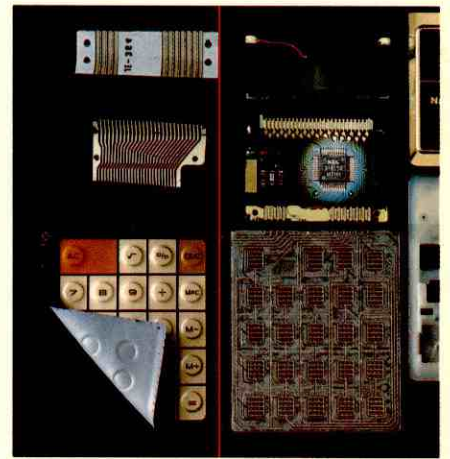
كَيْفَ تُولَدُ الْقُدْرَةُ الشَّمْسِيَّةُ ؟

الجزء العامل من الخلية ، فتعزز الإخراج الكهربى للخلية . ثم طبقتان من السيليكون المعالج تكونان قلب الخلية الشمسية : شبه موصل سالب - N ، شبه موصل موجب - P . والسيليكون السالب به إلكترونات حرة ، والسيليكون الموجب به شحنات موجبة غير مقيدة . وفى الظلام تتجمع الشحنات عند الوصلة بين الطبقات ، وعندما يقل ضوء الشمس على الخلية تتباعد الشحنات . وهذه الحركة تولد تياراً مستمراً عندما تكون الخلية جزءاً من دائرة . ويحمى السيليكون غشاء رقيق شفاف ويكمل الخلية قطب موجب معدنى .

ضوء الشمس هو مصدر الطاقة التى تجعل جميع أشكال الحياة ممكنة ، وقد نتج يوماً ما كثيراً من الكهرباء التى تعتمد عليها المجتمعات الحديثة ، وقد يدير ضوء الشمس تريبناً بطريقة غير مباشرة حيث تتركز أشعة الشمس بواسطة مجموعة مرايا على مبادل حرارى يسخر ماءً أو سائلاً آخر ، ويوجه البخار ليدير تريبناً تقليدياً ومولداً . أما الخلايا الشمسية السيليكونية فتولد الكهرباء مباشرة من أشعة الشمس . وتتركب الخلية الشمسية التقليدية من ست طبقات . فالقاعدة مزدوجة : القطب السالب للخلية ، وفوقه طبقة عاكسة تحفظ الضوء فى

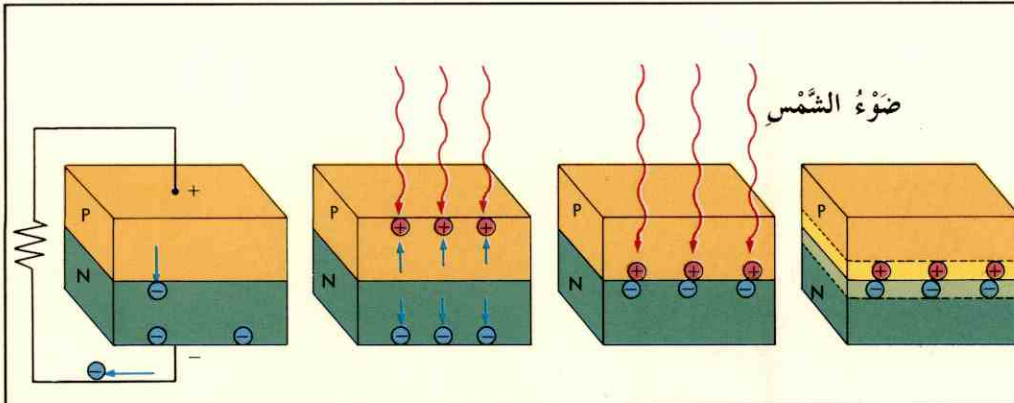
تركيب خلية شمسية

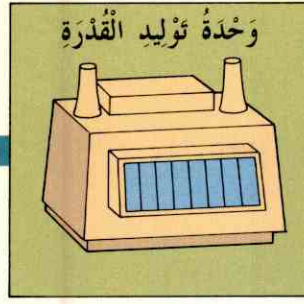
يمكن أن تعمل البطارية الشمسية لحاسب فى ضوء الحجرة العادية .



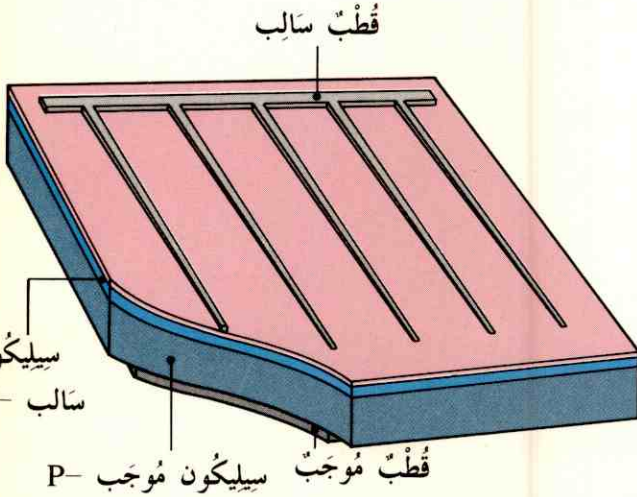
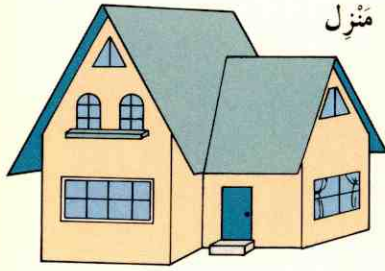
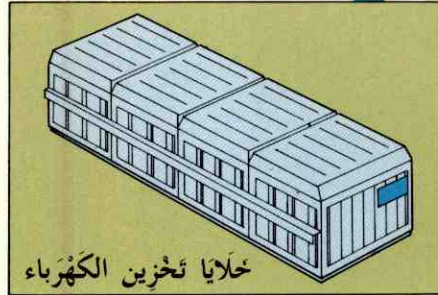
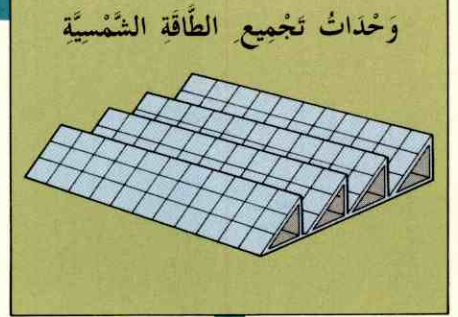
كَيْفَ تَعْمَلُ خَلِيَّةُ شَمْسِيَّة

الضوء الساقط على الخلية الشمسية يفصل الشحنات الموجبة والسالبة المتجمعة عند موضع اتصال الوصلة بين شريحتى سيليكون N- ، وسيليكون P- . والفصل بين الشحنات يولد فرق جهد ينتج تياراً كهربائياً عندما تكون الخلية جزءاً من دائرة كاملة .

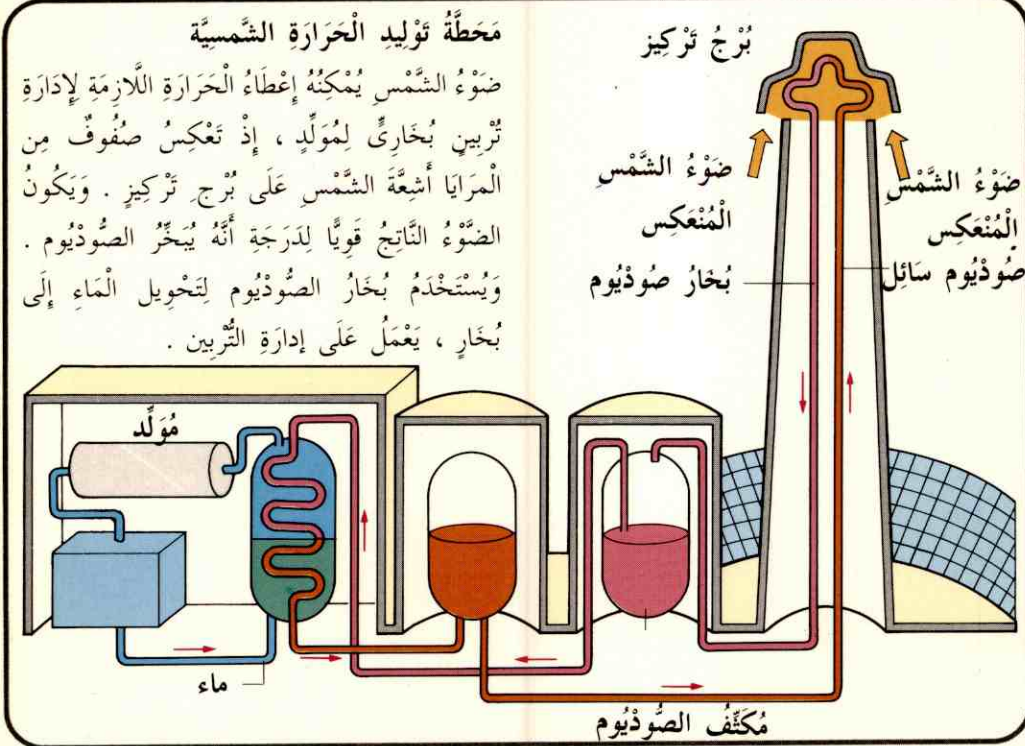
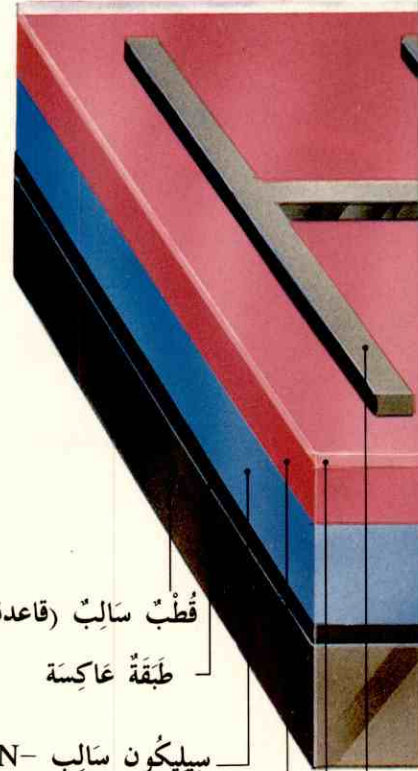




مَجْمُوعَةُ صُفُوفٍ مِنَ الْخَلَايا الشَّمْسِيَّةِ تُنتِجُ الْخَلَايا الشَّمْسِيَّةِ (أَسْفَلَ) تِيَارًا مُسْتَمِرًّا ، يُمَكِّنُ تَحْوِيلَهُ إِلَى تِيَارٍ مُتَرَدِّدٍ فِي وَحْدَةِ تُولِيدِ الْقُدْرَةِ . وَيُمْكِنُ تَخْزِينُ فَائِضِ الْكَهْرَبَاءِ الْمُتَوَلِّدَةِ فِي الْبَاطَرِيَّةِ لِاسْتِخْدَامِهَا فِيمَا بَعْدُ .



بَاطَرِيَّاتُ شَمْسِيَّةٌ فِي الْفَضَاءِ إِنَّ الْبَاطَرِيَّاتِ الشَّمْسِيَّةِ هِيَ مَصْدَرُ الطَّاقَةِ الرَّئِيسِيِّ فِي مُعْظَمِ الْأَقْمَارِ الْاصْطِنَاعِيَّةِ . وَتُخْتَلَفُ هَذِهِ الْخَلَايا (بِاسَارٍ) عَنْ تِلْكَ الَّتِي تُسْتَخْدَمُ عَلَى الْأَرْضِ (يَمِينٍ) . فَبَيْنَمَا نَحْتَاجُ الْخَلَايا الشَّمْسِيَّةَ عَلَى الْأَرْضِ إِلَى وَقَائِهَا مِنَ الْمَطَرِ وَالْأَثَرِيَّةِ ، فَإِنَّ الْخَلَايا الْمُسْتَخْدَمَةَ فِي الْفَضَاءِ يَجِبُ أَنْ تُقَاوِمَ الْإِشْعَاعَ عَالِيِ الطَّاقَةِ .

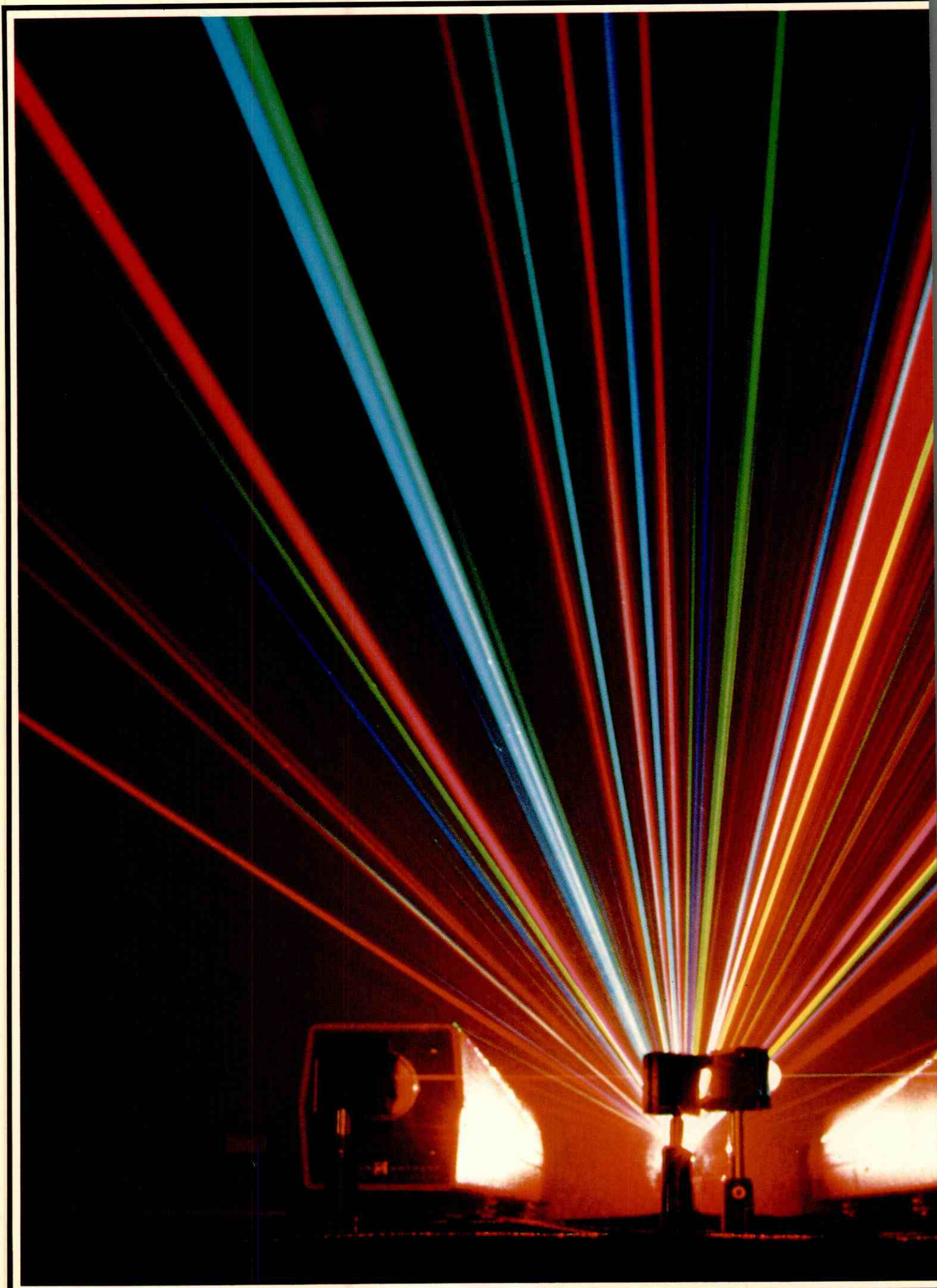


7 أَسْرَارُ الضَّوِّ

إِنَّ مُعْظَمَ مَا تَوَصَّلَ إِلَيْهِ الْعُلَمَاءُ عَنِ الْكَوْنِ جَاءَ نَتِيجَةً
مُلاحَظَةٍ وَتَحْلِيلِ الضَّوِّ . وَلَمْ يُعْرِفْ عَنِ الضَّوِّ نَفْسِهِ إِلَّا
الْقَلِيلَ حَتَّى عَهْدِ قَرِيبٍ . وَفِي الْقَرْنِ السَّابِعِ عَشَرَ ،
ظَهَرَتْ نَظَرِيَّتَانِ عَنِ طَبِيعَةِ الضَّوِّ . النِّظَرِيَّةُ الْجُسِيمِيَّةُ ،
الَّتِي وَضَعَهَا سِيرٌ إِسْحَاقُ نِيوتنٌ ، عَنْ أَنَّ الضَّوِّ يَتَكَوَّنُ
مِنْ دَقَائِقَ صَغِيرَةٍ تُسَمَّى الْجُسِيمَاتِ . وَاقْتَرَحَتْ النِّظَرِيَّةُ
الثَّانِيَّةُ لِهَيْجِنزٍ أَنَّ الضَّوِّ مَوْجَاتٌ تَتَحَرَّكُ فِي الْفَرَاغِ عَلَى
غِرَارِ التَّمَوُّجَاتِ عَبْرَ بَرَكَةِ مَاءٍ . وَمُعْظَمُ الْاِكْتِشَافَاتِ عَنْ
سُلُوكِ الضَّوِّ خِلَالَ الْمِائَتَيْنِ سَنَةِ الثَّالِيَةِ كَانَتْ تُؤَيِّدُ النِّظَرِيَّةَ
الْمَوْجِيَّةَ ، وَتَدْحِضُ النِّظَرِيَّةَ الْجُسِيمِيَّةَ . ثُمَّ كَانَ
لَاكْتِشَافِ فِيزِيَاءِ الْكَمِّ فِي الْقَرْنِ الْعِشْرِينَ أَثَرُهُ فِي دَعْمِ
النِّظَرِيَّتَيْنِ : حَيْثُ أَنَّهُ تَبَعًا لِطَرِيقَةِ الْقِيَاسِ وَالْمُلاحَظَةِ فَإِنَّ
الضَّوِّ يَتَّبِعُ إِمَّا خَوَاصَّ الدَّقِيقَةِ أَوْ الْمَوْجَةِ .

وَلِلضَّوِّ خَمْسُ خَوَاصٍّ مُمَيَّزَةٍ : الْاِنتِشَارُ وَالْاِنْعِكَاسُ
وَالْاِنكِسَارُ وَالْحِيُودُ وَالتَّدَاخُلُ . وَالْاِنتِشَارُ هُوَ اِنْتِقَالُ
الضَّوِّ فِي بُحُوطٍ مُسْتَقِيمَةٍ . وَالْاِنْعِكَاسُ هُوَ اِرْتِدَادُ
الضَّوِّ عَلَى السُّطُوحِ الْمَصْقُولَةِ كَالْمَرَايَا . وَيَنْكَسِرُ
الضَّوِّ أَوْ يَنْحَنِي عِنْدَمَا يَنْتَقِلُ مِنْ مَادَّةٍ إِلَى أُخْرَى —
مَثَلًا — مِنْ الْهَوَاءِ إِلَى عَدْسَةٍ زُجَاجِيَّةٍ . كَمَا تَنْحَنِي
مَوْجَاتُ الضَّوِّ حَوْلَ حَوَافِّ حَاجِزٍ ، وَهِيَ ظَاهِرَةٌ تُسَمَّى
الْحِيُودَ . وَفِي التَّدَاخُلِ . فَإِنَّ مَوْجَاتِ الضَّوِّ الْمُتَقَاطِعَةَ
تُغَيِّرُ بَعْضُهَا الْأُخْرَى عِنْدَمَا تَتَقَابَلُ . وَمِنْ مَجْمُوعِ هَذِهِ
الْخَوَاصِّ يُمَكِّنُ تَفْسِيرَ عَمَلِ أَجْهَزَةٍ كَثِيرَةٍ مِثْلِ الْعَدْسَاتِ
الْمُكَبِّرَةِ ، وَاللِّيزَرِ ، وَالْهُولُوجِرَامِ .

الضِّيَاءُ الْمُبْهَرُ لِأَشِعَّةِ اللَّيْزَرِ يُوضِّحُ أَحَدَ طُرُقِ تَحَكُّمِ
الْعُلَمَاءِ فِي الضَّوِّ . فَالليزرُ يُكَبِّرُ مَوْجَةً وَاحِدَةً مِنَ الضَّوِّ
لِيُنتِجَ شُعَاعًا قَوِيًّا شَدِيدَ التَّرْكِيزِ يُسْتَفَادُ بِهِ فِي الطَّبِّ
وَالصَّنَاعَةِ وَالْاِتِّصَالَاتِ .

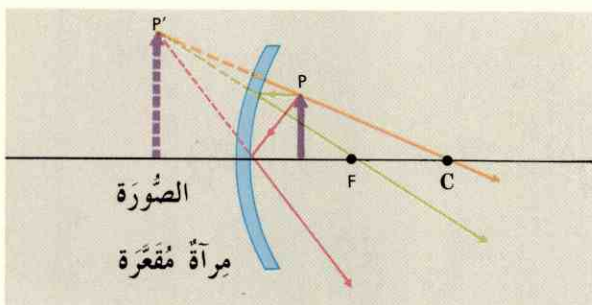
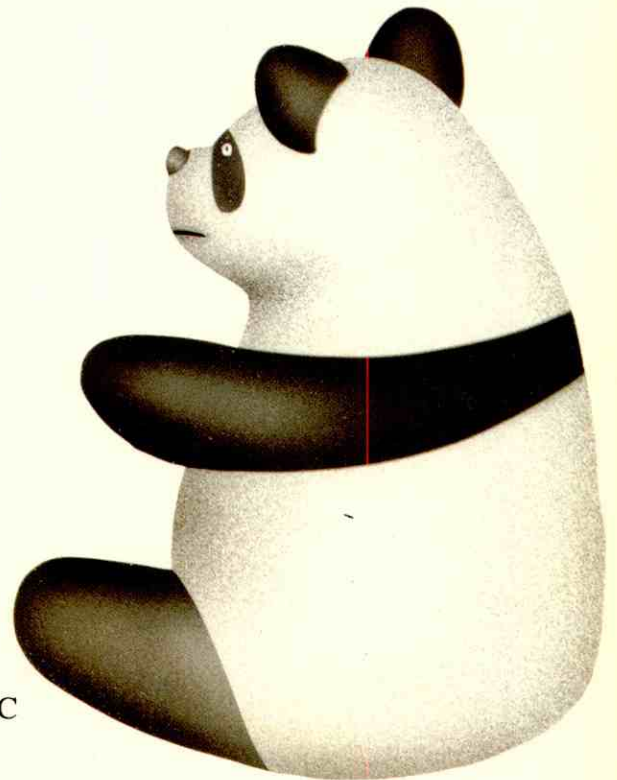


كَيْفَ تَوَثَّرَ السُّطُوحُ الْمُنْحِنِيَّةُ عَلَى الضَّوْءِ ؟

عَلَى السُّطُوحِ الْمُحَدَّبَةِ ، فَهُوَ دَائِمًا مُعَدِّلٌ ، لِأَنَّ هَذِهِ
السُّطُوحَ تَعْكِسُ الْأَشْعةَ مُتَفَرِّقَةً وَلَا تُعْكِسُهَا مُتَجَمِّعَةً .
وَلِذَلِكَ لَا تَقْطَاعُ الْأَشْعةُ الْمُعْكِسَةُ مُطْلَقًا ، وَبِالتَّالِي فَلَا
تَتَكَوَّنُ صُورٌ مَقْلُوبَةٌ .

يَخْتَلِفُ انْعِكَاسُ الضَّوِّ عَلَى السُّطُوحِ اللَّامِعَةِ طَبَقًا
لِانْحِنَائِهَا . فَتَجْوِيفُ الْمَلْعَقَةِ مِنَ الدَّخْلِ يُعْطِي انْعِكَاسَاتٍ
مَقْلُوبَةً ، بَيْنَمَا ظَهَرَ هَذَا التَّجْوِيفُ يَعْكِسُ صُورًا مُعْتَدِلَةً .
وَشَكْلُ السَّطْحِ الْعَاكِسِ هُوَ الَّذِي يُحَدِّدُ نَوْعَ
الْانْعِكَاسِ . فَالسُّطُوحُ الْمُقَعَّرَةُ مِثْلُ السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ
لِتَجْوِيفِ الْمَلْعَقَةِ يَعْكِسُ عَادَةً صُورًا مَقْلُوبَةً أَمَّا السُّطُوحُ
الْمُحَدَّبَةُ مِثْلُ السَّطْحِ الْخَارِجِيِّ لِتَجْوِيفِ الْمَلْعَقَةِ فَيَعْكِسُ
عَادَةً صُورًا مُعْتَدِلَةً .

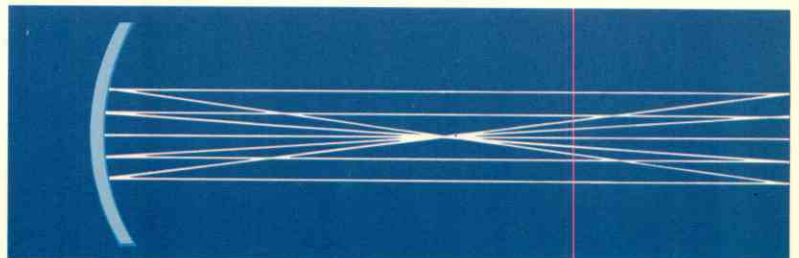
وَالْمَرَايَا الْمَقْعَرَةُ تَعَكْسُ الْأَشْءَ إِلَى الدَّخْلِ لِتُجْمَعَهَا فِي
بُقْعَةٍ مُعَيَّنَةٍ تُسَمَّى الْبُورَةَ . فَإِذَا كَانَ الْجِسْمُ مَوْضُوعًا بَيْنَ
الْبُورَةِ وَالْمَرَاةِ ، تَكُونُ صُورَتُهُ مُعَدِّلَةً . وَإِذَا كَانَ الْجِسْمُ
أَبْعَدَ مِنَ الْبُورَةِ ، سَيَكُونُ انْعِكَاسُهُ مَقْلُوبًا . أَمَّا الانْعِكَاسُ

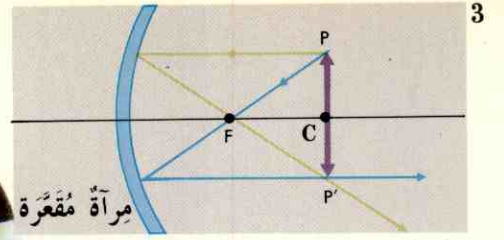


P = الجسم
 $\dot{P}$ الصورة
 C = مركز التكور
 F = البؤرة

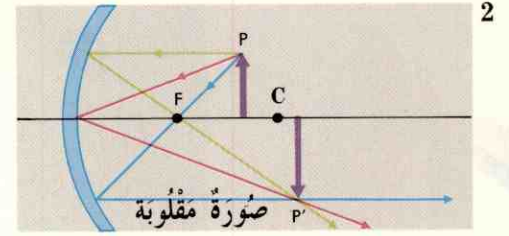
تُظْهِرُ صُورَةً مُكَبَّرَةً مُعْتَدِلَةً (P) لِحَيَوَانِ الْبَائِنَا بِالْإِنْعِكَاسِ عَلَى مُرَاةٍ مَقْعَرَةٍ ، عِنْدَمَا يَكُونُ وَضْعُ الْبَائِنَا (P) بَيْنَ الْمُرَاةِ وَالْبُورَةِ (F). وَتَتَكَوَّنُ الصُّورَةُ حَيْثُ يَتَقَابَلُ امْتِدَادُ الْأَشْئَةِ الْمُنْعَكِسَةِ .

أَشْعَةً مُتَوَازِيَةً سَاقِطَةً عَلَى سَطْحِ مِرَاةٍ مُقَعَّرَةٍ تَتَجَمَّعُ فِي
الْبُورَةِ بَعْدَ انْعِكَاسِهَا عَلَى هَذَا السَّطْحِ .

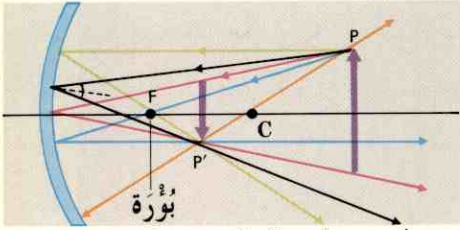




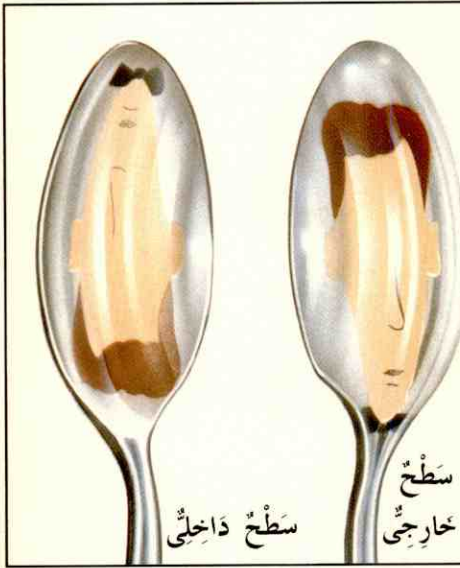
يَكُونُ الانعكاسُ مَقْلُوبًا أَيْضًا عِنْدَمَا تُوضَعُ
الْبَائِدَا عِنْدَ مَرَكِّزِ تَكْوُرِ سَطْحِ الْمِرْآةِ ،
وَلَكِنَّ الصُّورَةَ تَظْهَرُ فِي حَجْمٍ مُسَاوٍ
لِلْجِسْمِ .



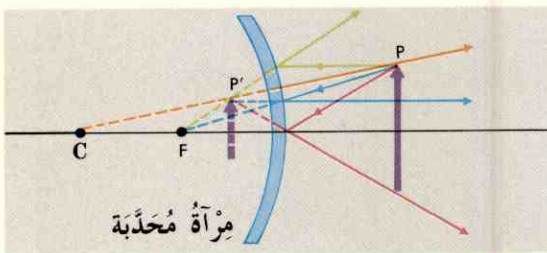
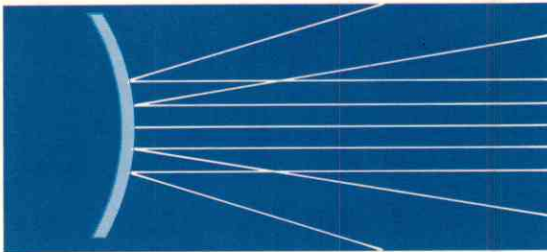
عِنْدَمَا تُوضَعُ الْبَائِدَا بَيْنَ بُورَةِ الْمِرْآةِ وَمَرَكِّزِ
التَّكْوُرِ ، يَكُونُ الانعكاسُ مَقْلُوبًا أَيْضًا ،
وَتَظْهَرُ صُورَةُ مَقْلُوبَةً مُكَبَّرَةً .



تَتَكَوَّنُ صُورَةُ مَقْلُوبَةً مُصَغَّرَةً ، عِنْدَمَا
تُوضَعُ الْبَائِدَا ، أَعْيَدَ مِنْ مَرَكِّزِ تَكْوُرِ
الْمِرْآةِ .



وَجْهًا الْمَلْعَقَةِ
السَّطْحَانِ الدَّاخِلِيَّ وَالْخَارِجِيَّ
لِتَجْوِيفِ الْمَلْعَقَةِ يَعْْمَلَانِ كَسَطْحَيْنِ
مُقَعَّرٍ وَمُحَدَّبٍ لِمِرْآةٍ كُرِّيَّةٍ . وَلِأَنَّ
بُورَةَ تَجْوِيفِ الْمَلْعَقَةِ قَرِيبَةً جِدًّا مِنْ
الْمَلْعَقَةِ ، فَإِنَّ جَمِيعَ الصُّوَرِ
الْمُنْعَكِسَةِ عَلَى السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ
الْمُقَعَّرِ تَكُونُ دَائِمًا مَقْلُوبَةً . أَمَّا
السَّطْحُ الْخَلْفِيُّ الْمُحَدَّبُ فَيُحْدِثُ
دَائِمًا صُورًا مُنْعَكِسَةً مُعْتَدِلَةً
وَمُصَغَّرَةً .

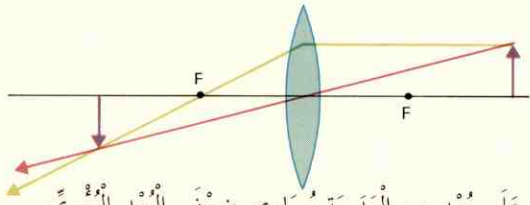


الصُّورَةُ فِي مِرْآةٍ مُحَدَّبَةٍ
مَهْمَا كَانَ بُعْدُ الْجِسْمِ عَنِ الْمِرْآةِ الْمُحَدَّبَةِ ، فَإِنَّ الصُّورَةَ الْمُتَكَوَّنَةَ بِوَسَائِطِهَا
تَكُونُ دَائِمًا مُعْتَدِلَةً وَمُصَغَّرَةً . وَلِأَنَّ الْمَرَايَا الْمُحَدَّبَةَ تُعْطِي مَجَالًا أَكْبَرَ لِلرُّوْيَةِ
(يسار) مِنَ الْمَرَايَا الْمُسْتَوِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تُسْتَخْدَمُ فِي السَّيَّارَةِ لِيَرَى السَّائِقُ الطَّرِيقَ
خَلْفَهُ .

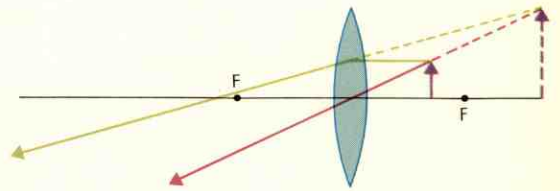
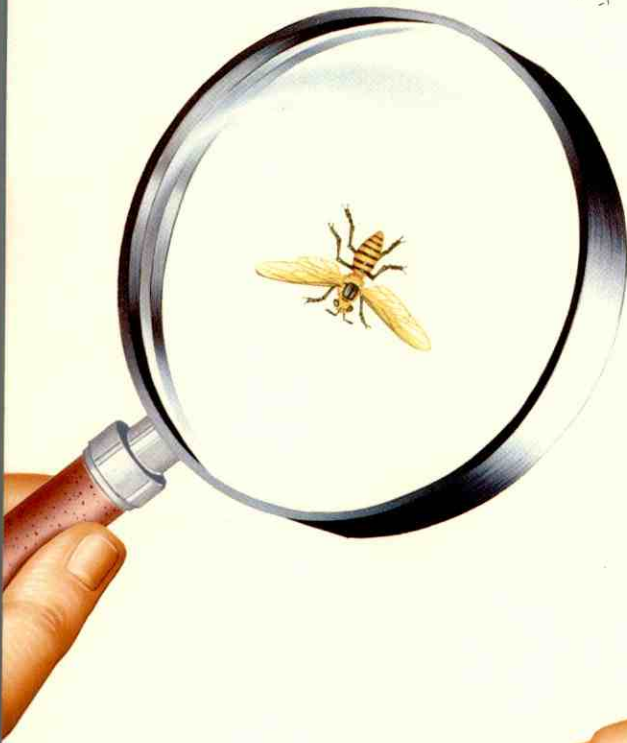


كَيْفَ تَعْمَلُ الْعَدْسَةُ الْمَكْبَرَةُ ؟

تَتَكَوَّنُ الْعَدْسَةُ الْمَكْبَرَةُ مِنْ عَدْسَةٍ مُحَدَّبَةٍ الْوُجْهَيْنِ ،
يَنْحَنِي سَطْحَاهَا إِلَى الْخَارِجِ . وَالْأَشْعَةُ الَّتِي تَمُرُّ فِي
الْعَدْسَةِ تَنْكَسِرُ إِلَى الدَّخْلِ مُتَجَمِّعَةً فِي بُورَةٍ عَلَى كُلِّ مِنْ
جَانِبِي الْعَدْسَةِ . وَالْمَسَافَةُ بَيْنَ الْبُورَةِ وَمَرْكَزِ الْعَدْسَةِ
تُسَمَّى الْبُعْدُ الْبُورِيُّ لِلْعَدْسَةِ ، وَهُوَ عَادَةً حَوْلَى ٥
بُوصَاتٍ فِي الْعَدْسَةِ الْمَكْبَرَةِ النَّمَاطِيَّةِ . وَإِذَا وُضِعَتْ
عَدْسَةُ مَكْبَرَةٍ فَوْقَ جِسْمٍ وَعَلَى بُعْدٍ أَقَلِّ مِنْ بُعْدِهَا
الْبُورِيِّ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ يَبْدُو مُكَبَّرًا وَمُعْتَدِلًا . وَهَذَا النَّوْعُ
مِنَ الصُّورِ يُسَمَّى صُورًا تَقْدِيرِيَّةً . وَلَكِنْ عَلَى بُعْدٍ يُسَاوِي
الْبُعْدَ الْبُورِيَّ لِلْعَدْسَةِ أَوْ يَزِيدُ ، فَإِنَّ الْعَدْسَةَ تُكَوِّنُ صُورًا
مَقْلُوبَةً ، تُسَمَّى صُورًا حَقِيقِيَّةً .

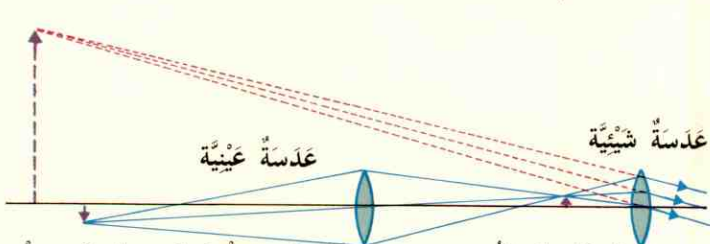


عَلَى بُعْدٍ مِنَ الْعَدْسَةِ يُسَاوِي ضِعْفَ الْبُعْدِ الْبُورِيِّ
لِلْعَدْسَةِ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ (سَهْمٌ أَرْجَوَانِي) يَظْهَرُ
كَصُورَةٍ حَقِيقِيَّةٍ مَقْلُوبَةٍ وَفِي نَفْسِ حَجْمِ
الْجِسْمِ .



إِذَا كَانَ الْجِسْمُ أَقْرَبَ إِلَى الْعَدْسَةِ مِنْ بُورَتِهَا
(F)، فَإِنَّ الْعَدْسَةَ تُظْهِرُ صُورَةً تَقْدِيرِيَّةً (أَرْجَوَانِي
مُقَطَّعًا) مُعْتَدِلَةً وَمَكْبَرَةً .

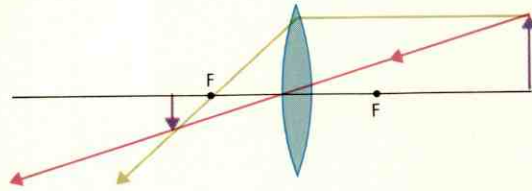
عَدْسَاتٌ مُحَدَّبَةٌ



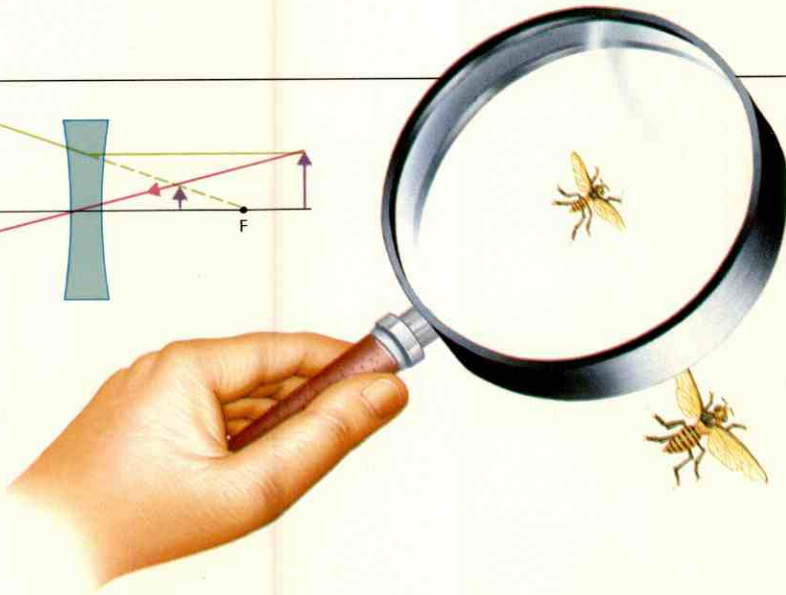
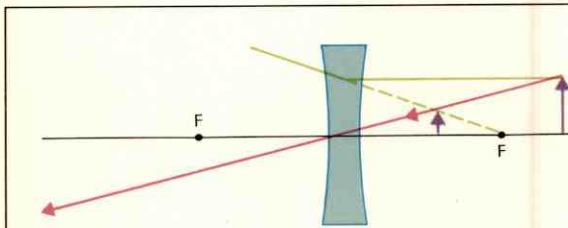
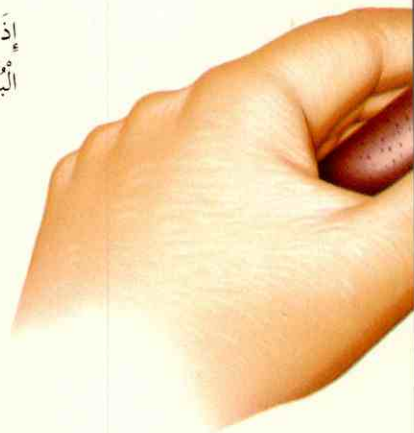
تُسْتَخْدَمُ مُعْظَمُ التَّلِسْكُوبَاتِ عَدْسَتَيْنِ مُحَدَّبَتَيْنِ الْوُجْهَيْنِ ، تُسَمَّيَانِ الْعَدْسَةَ
الشَّيْئِيَّةَ وَالْعَدْسَةَ الْعَيْنِيَّةَ . وَالشَّيْئِيَّةُ تُكَوِّنُ صُورَةً حَقِيقِيَّةً لِلْجِسْمِ تُكَبِّرُهَا الْعَيْنِيَّةُ
لِيُمْكِنَ رُؤْيُهَا .



عَدَسَةٌ مُحَدَّبَةٌ تُكَبِّرُ الْأَشْيَاءَ ، وَعَدَسَةٌ مُقَعَّرَةٌ تُصَغِّرُ الْأَشْيَاءَ .



إِذَا كَانَ الْجِسْمُ أَبْعَدَ مِنْ ضَعْفِ الْبُعْدِ الْبُورِي ، فَإِنَّهُ يَظْهَرُ مَقْلُوبًا وَمُصَغَّرًا .



عَدَسَاتُ مُقَعَّرَةٌ

إِذَا نَظَرْتُ إِلَى الْجِسْمِ مِنْ خِلَالِ عَدَسَةٍ مُقَعَّرَةٍ الْوَجْهَيْنِ قَرِيبَةً مِنَ الْجِسْمِ ، فَإِنَّ الْجِسْمَ يَبْدُو مُصَغَّرًا . لِأَنَّ الْعَدَسَةَ الْمُقَعَّرَةَ الْوَجْهَيْنِ تُكَوِّنُ صُورًا تَقْدِيرِيَّةً مُعْتَدِلَةً وَحَجْمُهَا أَصْغَرُ مِنْ حَجْمِ الْجِسْمِ .

كيف تقاس سرعة الضوء ؟

في عام ١٦٧٦ قام الفلكي الدانمركي «أول رومر» بأول محاولة لتقدير سرعة الضوء . فقد لاحظ زوومر اختلافًا في الأزمنة الدورية الظاهرية لأقمار المشتري ، واستنتج أن حركة الأرض سواء في اقترابها أو ابتعادها عن المشتري ، قد غيرت المسافة التي يقطعها الضوء الصادر من أقمار المشتري . ومن هذا الاختلاف توصل إلى أن سرعة الضوء كانت ١٣٦٦٤٦ ميل/ثانية . وفي عام ١٨٤٩ ، قاس الفيزيائي الفرنسي «أرماند فيزو»

سرعة الضوء بطريقة غير فلكية وقدرها ١٩٤٤١٠ ميل/ثانية .

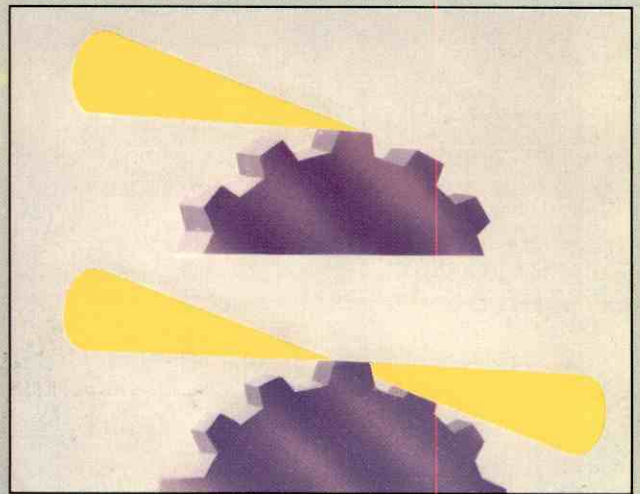
ويتركب جهاز فيزو (أسفل) من مصدر ضوئي ، ومراة نصف مفضضة — تعكس فقط نصف الضوء الساقط عليها وتنفذ الباقي ، وعجلة مسننة دوارة بسرعات مختلفة ، ومراة ثابتة . فيسقط الضوء على المراة نصف المفضضة ، فإنها تعكسه إلى العجلة المسننة التي تقطعه بسرعتها الكبيرة إلى أشعة .

وتتم المحافظة على مسار هذه الأشعة بدقة بواسطة عدسات محدبة ، بحيث أن كل شعاع يمر من العجلة المسننة يمر خلال العدسات لينعكس على المراة الساكنة ويعود في نفس المسار إلى العجلة المسننة . وبضبط

تجربة فيزو

مراة نصف مفضضة

عدسة



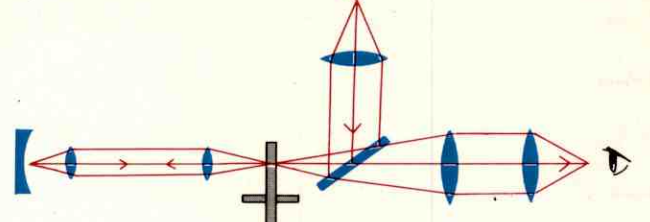
في الشكل العلوي ، يمر الشعاع ويعود إلى نفس فتحة العجلة المسننة إذا كانت العجلة تدور ببطء (سفل) . ولكن إذا دارت العجلة بسرعة (علوي) فإن الضوء المنعكس يخرج من سن العجلة .

عدسة عينية

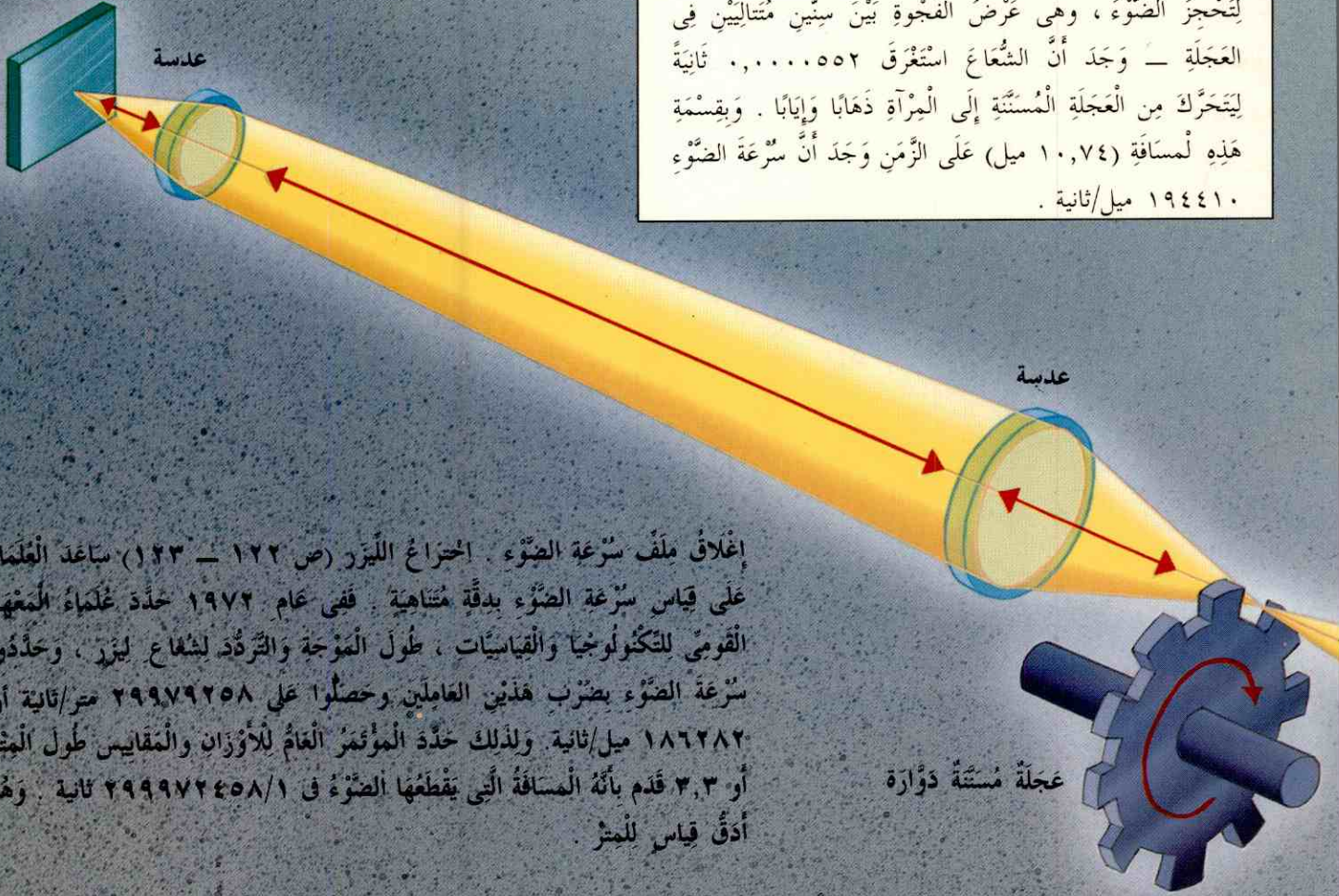
سرعة العجلة المسننة بحيث يحجز الشعاع العائد عند التروس ، تمكن فيزو من حساب سرعة الضوء . ١٨٥٠٩٣ ميل/ثانية ، وهو رقم يقترب كثيرا من القيمة الحالية وهي ١٨٦٢٨٢ ميل/ثانية التي تم قياسها بضرب طول موجة شعاع ليزر $\times$ تردده .

نَتَائِجُ فِيزِيُو

عِنْدَمَا وَضَعَ فِيزِيُو الْمِرَاةَ السَّائِكَةَ عَلَى بُعْدِ ٥,٣٧ مِيلًا ، لَزِمَ



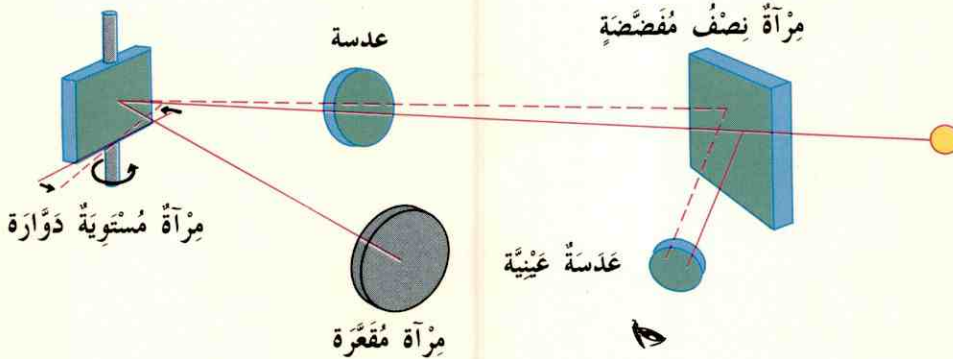
أَنْ يُدِيرَ الْعَجَلَةَ الْمُسَنَّنةَ بِسُرْعَةٍ ١٢,٦ دَوْرَةً/ثَانِيَةً لِتَحْجِزَ الشَّعَاعَ الْمُنْعَكِسَ . وَبِحِسَابِ الْمَسَافَةِ الَّتِي تَدْوَرُهَا الْعَجَلَةُ الْمُسَنَّنةُ لِتَحْجِزَ الضَّوْءَ ، وَهِيَ عَرْضُ الْفَجْوَةِ بَيْنَ سِنِّينِ مُتتَالِيَيْنِ فِي الْعَجَلَةِ — وَجَدَ أَنَّ الشَّعَاعَ اسْتَعْرَقَ ٠,٠٠٠٠٥٥٢ ثَانِيَةً لِيتَحَرَّكَ مِنَ الْعَجَلَةِ الْمُسَنَّنةِ إِلَى الْمِرَاةِ ذَهَابًا وَإِيَابًا . وَبِقِسْمَةِ هَذِهِ لِمَسَافَةِ (١٠,٧٤ ميل) عَلَى الزَّمَنِ وَجَدَ أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوْءِ ١٩٤٤١٠ ميل/ثَانِيَةٍ .



إِغْلَاقُ مَلَفِ سُرْعَةِ الضَّوْءِ . اخْتِرَاعُ اللَّيْزَرِ (ص ١٢٢ — ١٢٣) سَاعَدَ الْعُلَمَاءَ عَلَى قِيَاسِ سُرْعَةِ الضَّوْءِ بِدَقَّةٍ مُتَنَاهِيَةٍ . فَفِي عَامِ ١٩٧٢ خَدَّدَ غُلَمَاءُ الْمَعْهَدِ الْقَوْمِيُّ لِلتَّكْنُولُوجِيَا وَالْقِيَاسِيَّاتِ ، طُولَ الْمَوْجَةِ وَالتَّرَدُّدَ لِشَّعَاعِ لَيْزَرٍ ، وَخَدَّدُوا سُرْعَةَ الضَّوْءِ بِضَرْبِ هَذَيْنِ الْعَامِلَيْنِ وَحَصَلُوا عَلَى ٢٩٩٧٩٢٥٨ متر/ثَانِيَةٍ أَوْ ١٨٦٢٨٢ ميل/ثَانِيَةٍ . وَلِذَلِكَ خَدَّدَ الْمُؤْتَمِرُ الْعَامُّ لِلْأَوْزَانِ وَالْمَقَاسِ طُولَ الْمَخْرُ أَوْ ٣,٣ قَدَمَ بَأَنَّهُ الْمَسَافَةُ الَّتِي يَقْطَعُهَا الضَّوْءُ فِي ١/٢٩٩٩٧٩٢٤٥٨ ثَانِيَةٍ . وَهُوَ أَدْقُ قِيَاسٍ لِلْمِثَرِ

تَجْرِبَةُ فُوكُولْتِ

فِي عَامِ ١٨٥٠ ، حَسَنَ الْفِيزِيَايِيُّ الْفَرَنْسِيُّ فُوكُولْتِ طَرِيقَةَ فِيزِيُو فَاسْتَبَدَلَ الْعَجَلَةَ الْمُسَنَّنةَ بِمِرَاةٍ دَوَّارَةٍ . وَلَا يُمَكِّنُ لِلْمُرَاقِبِ أَنْ يَكْتَشِفَ أَيَّ ضَوْءٍ مِنَ الْمَنْبَعِ إِلَّا إِذَا دَارَتِ الْمِرَاةُ دَوْرَةً كَامِلَةً (٥٣٦٠) بَيْنَ زَمَنِ خُرُوجِ الشَّعَاعِ وَوَعُودَتِهِ . وَتَوَصَّلَ فُوكُولْتِ إِلَى أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوْءِ ١٨٥٠٩٣ ميل/ثَانِيَةٍ .

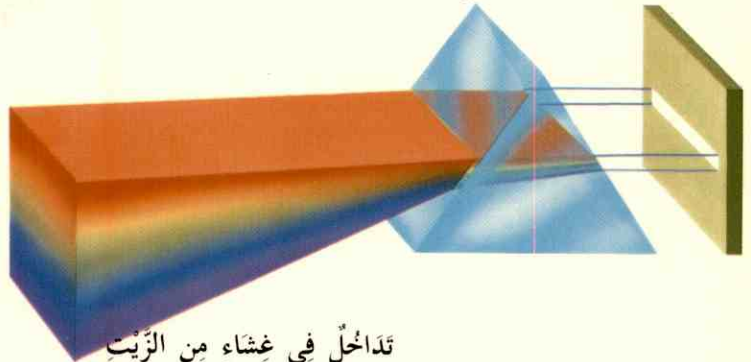


لماذا نرى فقاعات الصابون ملونة ؟

تَشْكِلُ الْأَلْوَانُ الْمَتَجَوِّلُ عَلَى سَطْحِ فُقَاعَةِ صَابُونِيَّةٍ يَتَكُونُ بِسَبَبِ الطَّبِيعَةِ الْمُعَقَّدَةِ لِلضَّوِّ وَطَرِيقَةِ انْعِكَاسِهِ عَلَى سَطْحِ الْفُقَاعَةِ . وَيَتَكُونُ الضَّوُّ الْأَبْيَضُ مِنْ مَجْمُوعَةِ أَلْوَانٍ ، لِكُلِّ مِنْهَا طَوَّلٌ مُوجِيٌّ مُخْتَلِفٌ يَظْهَرُ إِلَى الْيَسَارِ عَلَى شَكْلِ مَوْجَاتٍ ذَاتِ قِمَمٍ وَقِيعَانٍ . وَعِنْدَمَا يَسْقُطُ الضَّوُّ عَلَى سَطْحِ فُقَاعَةِ صَابُونِيَّةٍ ، تَنْعَكِسُ بَعْضُ الْمَوْجَاتِ مُبَاشَرَةً عَلَى السَّطْحِ . وَتَنْفُذُ مَوْجَاتٌ أُخْرَى خِلَالَ غِشَاءِ الْفُقَاعَةِ حَيْثُ تَنْكَسِرُ ، ثُمَّ تَنْعَكِسُ عَلَى السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ لِغِشَاءِ الْفُقَاعَةِ . وَلَا تَتَطَابَقُ دَائِمًا قِمَمُ وَقِيعَانِ الْمَوْجَاتِ الْمُنْعَكِسَةِ عَلَى السَّطْحِ الْخَارِجِيِّ بِمِثْلِيَّتِهَا الْمُنْعَكِسَةِ عَلَى السَّطْحِ الدَّاخِلِيِّ . وَلَكِنَّهَا إِذَا اتَّحَدَتْ ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ يَقْوَى بَعْضُهَا الْآخَرَ . وَإِذَا لَمْ تَتَّحِدْ ، يُضْعَفُ بَعْضُهَا الْآخَرَ فِيمَا يُسَمَّى بِالتَّدَاخُلِ الْمَوْجِي . وَفِي هَذِهِ الْحَالَةِ يَتَكُونُ قَوْسٌ قُزَحٍ عَلَى غِشَاءِ الْفُقَاعَةِ لِأَنَّ اخْتِلَافَ السُّمُكِ فِي الْغِشَاءِ يُحْدِثُ أَشْكَالًا لِهَذَا التَّدَاخُلِ وَيَعَكِسُ الضَّوُّ حَسَبَ الطُّولِ الْمَوْجِي لِكُلِّ لَوْنٍ .

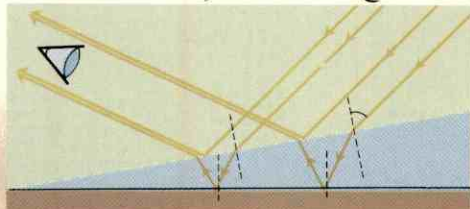
طَيْفُ الضَّوِّ الْأَبْيَضِ

عِنْدَمَا يَمُرُّ الضَّوُّ الْأَبْيَضُ فِي مَنَشُورٍ ثَلَاثِيٍّ (أَسْفَلَ)، فَإِنَّ الضَّوِّ يَتَحَلَّلُ إِلَى مُكَوِّنَاتِهِ اللَّوْنِيَّةِ : الْأَحْمَرُ الْمَعْرُوفُ ، وَالْبُرْتُقَالِي ، وَالْأَصْفَرُ ، وَالْأَخْضَرُ ، وَالْأَزْرَقُ ، وَالنَّيْلِيُّ ، وَالْبَنَفْسَجِيُّ ، وَهِيَ أَلْوَانُ قَوْسِ قُزَحٍ . وَتَنْكَسِرُ أَقْصَرُ الْمَوْجَاتِ بِزَاوِيَةٍ أَكْبَرَ مِنْ انْكِسَارِ أَطْوَلِ الْمَوْجَاتِ . فَيَكُونُ انْكِسَارُ الْبَنَفْسَجِيِّ — أَقْصَرُ الْمَوْجَاتِ — أَكْبَرَ مَايُمْكِنُ ، وَانْكِسَارُ الْأَحْمَرِ — أَطْوَلِ الْمَوْجَاتِ — أَقَلُّ مَايُمْكِنُ .

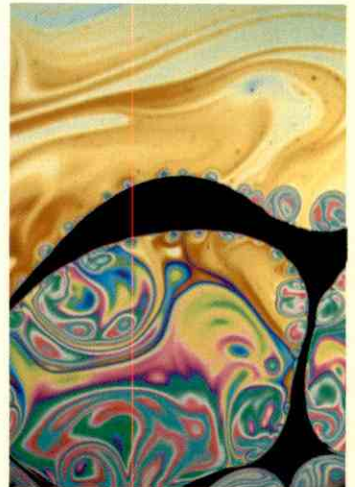


تَدَاخُلٌ فِي غِشَاءِ مِنَ الزَّيْتِ

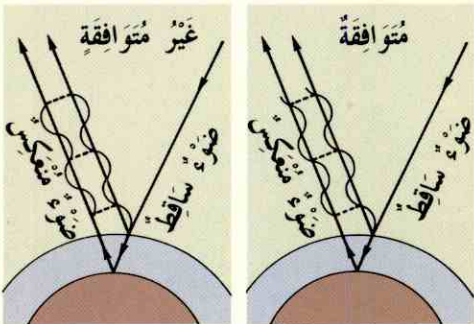
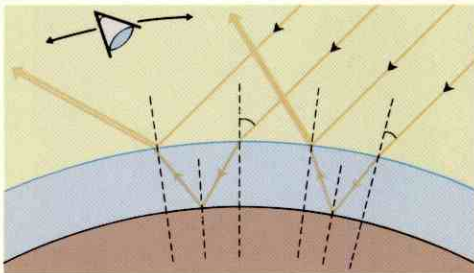
تَنْشَأُ الْأَلْوَانُ عَلَى غِشَاءٍ رَقِيقٍ مِنَ الزَّيْتِ ، بِسَبَبِ التَّدَاخُلِ . وَتَتَوَقَّفُ عَلَى سُمْكِ الْغِشَاءِ ، وَعَلَى زَاوِيَةِ سُقُوطِ الضَّوِّ (أَسْفَلَ) . وَيَظْهَرُ سَوَادٌ (عَتَامَةٌ) فِي الْأَمَاكِنِ الَّتِي تُلْغَى فِيهَا جَمِيعُ مَوْجَاتِ الضَّوِّ بَعْضُهَا الْبَعْضَ .



تَظْهَرُ ذَوَامَاتٌ مِنَ الْأَلْوَانِ عَلَى غِشَاءِ الزَّيْتِ .



التداخل في فقاعة صابونية
رغم أن الفقاعة الصابونية تكون منتظمة
السُمك عند سطحها، إلا أن انحناء سطحها
يُغيّر التداخل الحادث عند كل نقطة .



الموجات المتّحدة القِمَم (يمين) يُقَوَّى بعضها
الآخر ، والموجات غير المتّحدة (يسار) يُلغى
بعضها الآخر .

مَا هُوَ اللَّيْزِرُ ؟

وَتُنْتِجُ قَدْرًا هَائِلًا مِنْ مَوْجَاتِ الضَّوِّ الْمُتَمَاثِلَةِ الْمُتَّحِدَةِ
الْآتِيَةِ . وَتُكَوِّنُ هَذِهِ الْمَوْجَاتُ شُعَاعًا قَوِيًّا ، لِدَرَجَةٍ أَنَّهُ
فِي بَعْضِ أَنْوَاعِ اللَّيْزِرِ يَكُونُ قَادِرًا عَلَى اخْتِرَاقِ الْأَحْجَارِ
وَالْمَعَادِنِ . وَقَدْ اخْتَرَعَ اللَّيْزِرُ عَامَ ١٩٦٠ . وَيُسْتَعْدَمُ
فِي مَجَالَاتٍ مُتَنَوِّعَةٍ : فِي الطَّبِّ لِتَبْخِيرِ الْأَوْزَامِ ، وَفِي
الْمُوسِيقَى لِحَفْرِ وَقِرَاءَةِ الْإِشَارَاتِ عَلَى الْأَقْرَاصِ
الْمَصْغُوطَةِ .

اللَّيْزِرُ هُوَ جِهَازٌ يُنْتِجُ شُعَاعًا ضَيِّقًا مِنْ ضَوْءٍ شَدِيدِ
التَّرْكِيزِ . وَيُسْتَعْمَلُ اللَّيْزِرُ مِنَ الْحَقِيقَةِ الْقَائِلَةِ بِأَنَّ
إِلِكْتُرُونَاتِ ذَرَّةٍ يُمَكِّنُهَا أَنْ تَشْغَلَ فَقَطْ مَدَارَاتٍ مُعَيَّنَةً
حَوْلَ النَّوَاةِ . وَعِنْدَمَا تَسْتَقْبِلُ ذَرَّةٌ دُفْعَةً مُفَاجِئَةً مِنْ
الطَّاقَةِ ، قَدْ تَنَارَ ، فَتَدْفَعُ إِلِكْتُرُونَاتِهَا مِنْ أَقْلٍ مُسْتَوِيَّاتِ
الطَّاقَةِ الَّتِي تُسَمَّى الْحَالَةَ الْأَرْضِيَّةَ إِلَى أَحَدِ مُسْتَوِيَّاتِ
الطَّاقَةِ الْأَعْلَى . وَلَكِنَّ الْإِلِكْتُرُونَاتِ لَا يُمَكِّنُهَا الْبَقَاءُ
طَوِيلًا فِي مَدَارٍ عَالِيِ الطَّاقَةِ ، فَتَعُودُ مَرَّةً أُخْرَى إِلَى
حَالَتِهَا الْأَعْيَادِيَّةِ ، وَيُطْلَقُ كُلُّ إِلِكْتُرُونٍ فَوْثُونًا أَوْ مَوْجَةً
ضَوْئِيَّةً فِي هَذِهِ الْعَمَلِيَّةِ . وَبِمَجَرَّدِ أَنْ تَبْدَأَ ذَرَّةٌ هَذَا ،
فَإِنَّهَا تُثِيرُ تَفَاعُلًا مُتَسلسِلًا لِلإِلِكْتُرُونَاتِ أُخْرَى تَهْبِطُ ،

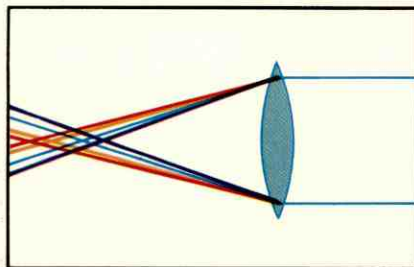
أَنْبُوبُ تَفْرِيعٍ كَهْرَبِيٍّ

مِرَاةٌ شَفَافَةٌ جُزْئِيًّا

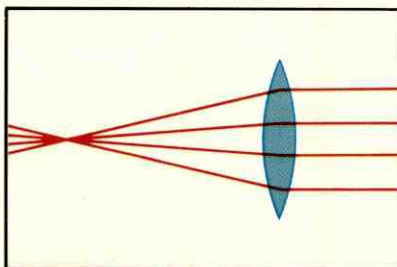
يَا قَوْثُ

تَرْكِيزُ أَقْوَى

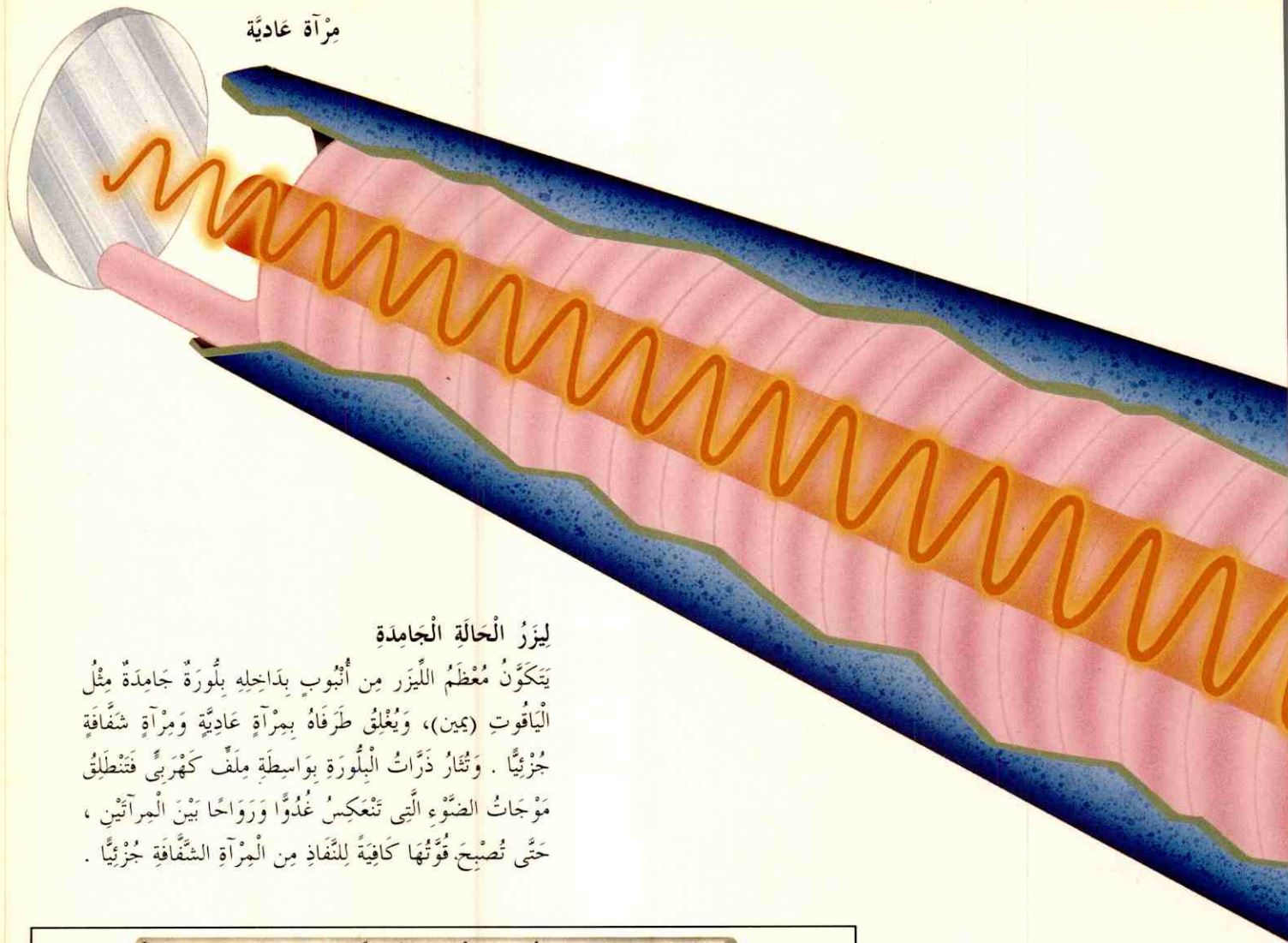
يَحْتَوِي شُعَاعُ اللَّيْزِرِ عَلَى طُولِ مَوْجِيٍّ وَاحِدٍ مِنْ
الضَّوِّ وَيُمْكِنُ تَرْكِيزُهُ بِشِدَّةٍ فِي نُقْطَةٍ وَاحِدَةٍ
بِاسْتِخْدَامِ عَدْسِيَّةٍ (يسار). أَمَّا الضَّوُّ الْعَادِيُّ
الْمُحْتَوِي عَلَى عِدَّةِ أَطْوَالٍ مَوْجِيَّةٍ ، فَلَا يُمَكِنُ تَرْكِيزُهُ
بِهَذِهِ الشَّدَّةِ (أقصى يسار) . وَمِنْ أَهَمِّ مُمَيِّزَاتِ اللَّيْزِرِ
قُدْرَتُهُ عَلَى تَرْكِيزِ قَدْرِ كَبِيرٍ مِنَ الطَّاقَةِ فِي بُقْعَةٍ بِالْعَةِ
الصَّغِيرِ ، وَكَذَلِكَ انْتِفَالُهُ لِمَسَافَاتٍ طَوِيلَةٍ بِقُدْرَةٍ
مُنْحَفِظَةٍ دُونَ أَنْ يَتَفَرَّقَ أَوْ يَضْعُفَ مِثْلَ الضَّوِّ الْعَادِيِّ
مُتَعَدِّدِ الْأَلْوَانِ .



ضَوْءٌ عَادِيٌّ (أَلْوَانٌ كَثِيرَةٌ)



ضَوْءُ لَيْزِرٍ (لَوْنٌ وَاحِدٌ)



لِيزَرُ الْحَالَةِ الْحَامِدَةِ

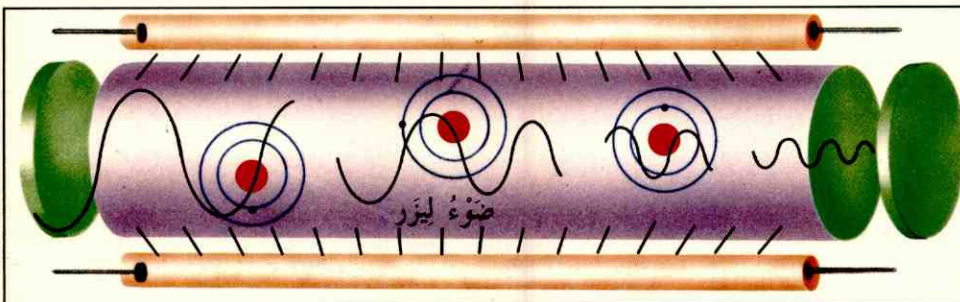
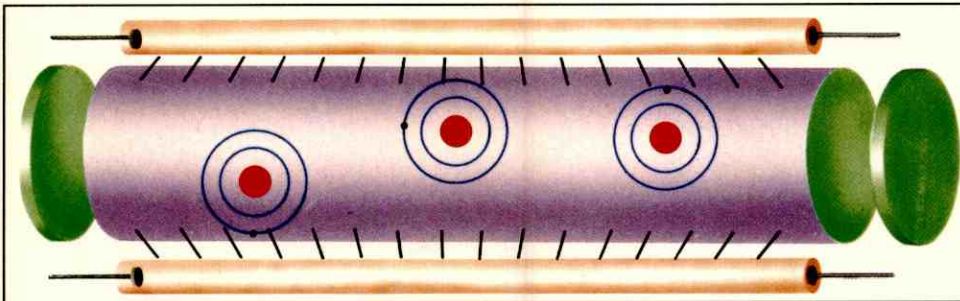
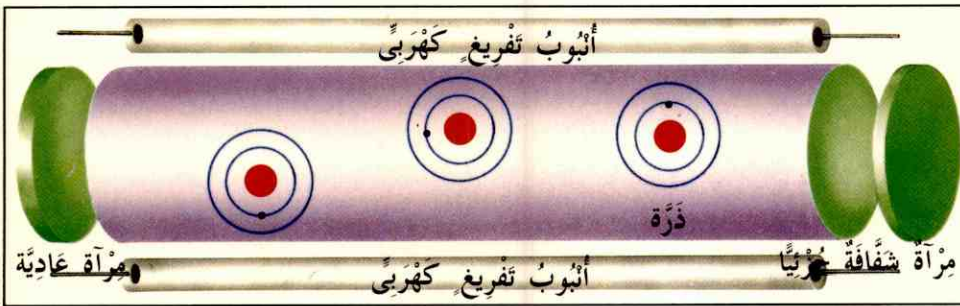
يَتَكَوَّنُ مُعْظَمُ اللَّيْزَرِ مِنْ أَتُبُوبٍ بِدَاخِلِهِ بِلُورَةٌ جَامِدَةٌ مِثْلُ الْيَاقُوتِ (يَمِين)، وَيُعْلَقُ طَرَفَاهُ بِمِرَاةٍ عَادِيَّةٍ وَمِرَاةٍ شَفَافَةٍ جُزْئِيًّا . وَتُنَارُ ذَرَّاتُ الْبِلُورَةِ بِوَاسِطَةِ مَلَفٍ كَهْرَبِيِّ فَتَنْطَلِقُ مَوْجَاتُ الضَّوِّ الَّتِي تَتَعَكَّسُ غُدُوًّا وَرَوَاحًا بَيْنَ الْمِرَاتَيْنِ ، حَتَّى تُصْبِحَ قُوَّتُهَا كَافِيَةً لِلتَّنَاقُضِ مِنَ الْمِرَاةِ الشَّفَافَةِ جُزْئِيًّا .

بِنَاءُ شَعَاعِ لِيْزَرٍ

١ — تَسْتَقْبِلُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ (نُقْطُ سَوْدَاءُ) كُلَّ ذَرَّةٍ فِي الْحَالَةِ الْأَرْضِيَّةِ قَبْلَ تَشْغِيلِ اللَّيْزَرِ .

٢ — بِتَشْغِيلِ اللَّيْزَرِ ، تَنْتَقِلُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ إِلَى مَدَارَاتٍ أَعْلَى طَاقَةٍ (الدَّوَارَاتِ الْخَارِجِيَّةِ) بِوَاسِطَةِ الطَّاقَةِ الْمُنْبَعِثَةِ مِنْ أَتُبُوبِ التَّفْرِيعِ .

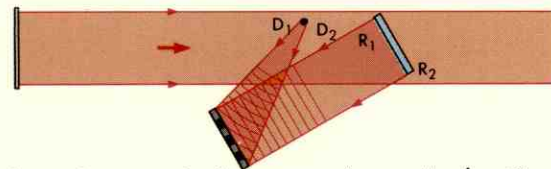
٣ — عِنْدَمَا تَسْقُطُ الْإِلِكْتُرُونَاتُ إِلَى الْحَالَةِ الْأَرْضِيَّةِ ، فَإِنَّهَا تَبْعَثُ ضَوْءًا ، وَتُحَثُّ الْإِلِكْتُرُونَاتِ أُخْرَى عَلَى عَمَلِ نَفْسِ الشَّيْءِ . وَالشَّعَاعُ النَّاتِجُ لَهُ طَوْلُ مَوْجِيٍّ وَاحِدٍ ، وَتَزْدَادُ قُوَّتُهُ بِسُقُوطِ مَزِيدٍ مِنَ الْإِلِكْتُرُونَاتِ .



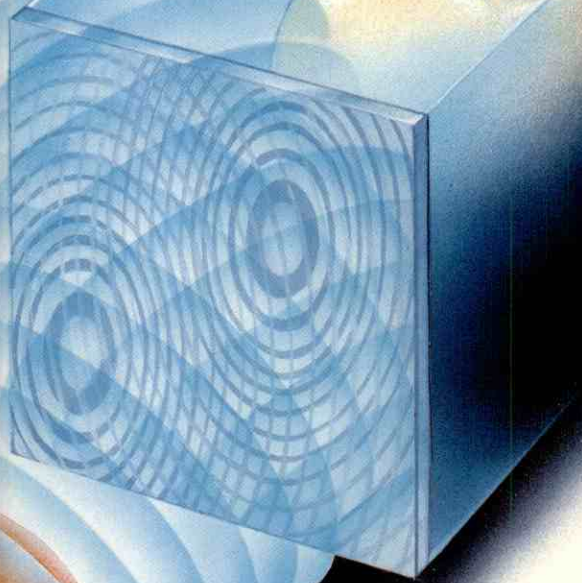
ما هو الهولوجرام؟

الهولوجرام هو صورة تحدث مجسماً ذا ثلاثة أبعاد عندما يسقط الضوء عليها . وتبدأ عملية عمل الهولوجرام بأن تقوم مرآة نصف شفافة بقسمة ضوء ليزر إلى شعاعين يسميان الموجة الجسمية والموجة المرجعية . والموجة الجسمية تنعكس على الجسم المصور ثم تتوجه نحو فيلم خاص ، بينما تتجنب الموجة المرجعية الجسم وتوجه مباشرة إلى الفيلم . وعندما تتقابل الموجتان معاً مرة ثانية ، تتحدان على الفيلم لتكونا شكلاً متداخلاً واحداً يدون المعلومات عن الجسم في أبعاد ثلاثة . وبإسقاط شعاع ليزر على الهولوجرام المحمض تنعكس العملية عندما يوضح الضوء الشكل المتداخل ليكشف عن الصورة الأصلية التي حملتها الموجة الجسمية .

عمل هولوجرام
مرآة نصف شفافة تقسم ضوء ليزر إلى شعاعين (أسفل يمين) وعند تقابلهما ، يخزن الشعاعان المعلومات على فيلم ، في صورة شكل متداخل .

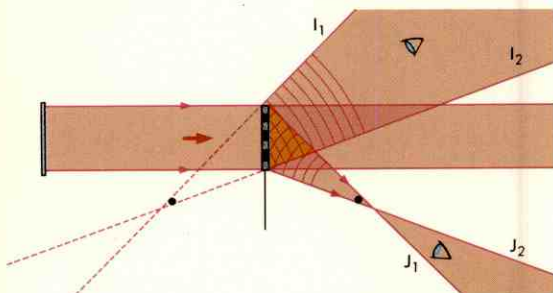


شكل متداخل يتكون عندما تتقابل الموجات الجسمية مع الموجات المرجعية R2-R1 عند زوايا مختلفة . والمساحات التي يكون فيها التداخل بناءً أو مقلوباً تبادلياً ، تظهر سوداء على الرسم .



استخراج الصورة

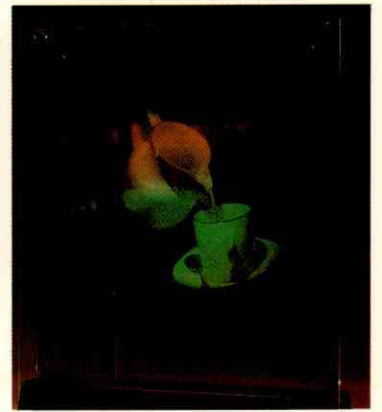
عندما يسقط على الهولوجرام ضوء ليزر له نفس الطول الموجي للموجة الجسمية والمرجعية، يحدث له حيود كما لو كان يضطد بال جسم نفسه. وفي بعض الحالات، يمكن رؤية الصور من الهولوجرام في الضوء العادي وفي ضوء الليزر أيضا.



ليزر يضيء على الهولوجرام، ويحدث له حيود في I2, I1 أو J2, J1 بواسطة التداخل على الفيلم، فيعيد إظهار الصورة ثلاثية الأبعاد.



صورة في أسطوانة



صورة بالضوء العادي

ماذا يحدث عند



٢,١ ثانية



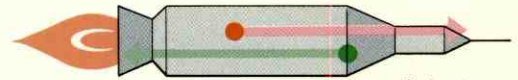
١,٤ ثانية

عندما تختلف الساعات

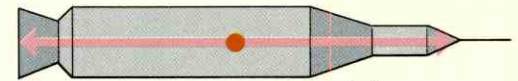
يُبطئ الوقت على صاروخٍ مُسافرٍ بسرعةٍ تقترب من سرعة الضوء. فعندما يمرُّ على الصاروخِ ٠,٧ ثانية يكون قد مرَّ على الأرض ثانية كاملة. ومُروُرُ ٢,١ ثانية على الصاروخِ، يُقابلُهُ مُروُرُ ٣ ثوانٍ على الأرض.

صاروخٌ منكَمَشٌ

المُراقِبُ الساكنُ سيلاحظُ قصرًا في طول الصاروخِ السريعِ (أسفل - علوى) لأنَّ الضوءَ المنبعثَ من نهايتي الصاروخِ يصلُ إلى المُراقِبِ في وقتٍ واحدٍ تقريبًا.



طول الصاروخِ وهو مُتحركٌ



طول الصاروخِ وهو ساكنٌ

مُراقِبٌ

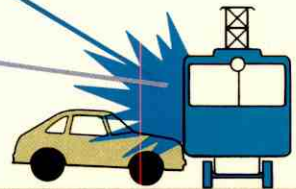
أحداثٌ في نفس الوقتِ

اصطدامُ السيارةِ (يمين) والحريقُ (يسار) يظهران لمُراقِبٍ على الأرضِ كأنَّهُما حادثانِ في نفس الوقتِ. أمَّا من داخلِ صاروخٍ يتحركُ بسرعةٍ الضوءِ تقريبًا في اتجاهِ الحريقِ، فإنَّ الحريقَ يظهرُ كأنَّهُ حدثَ أولًا.



صاروخٌ مُتحركٌ

مُراقِبٌ

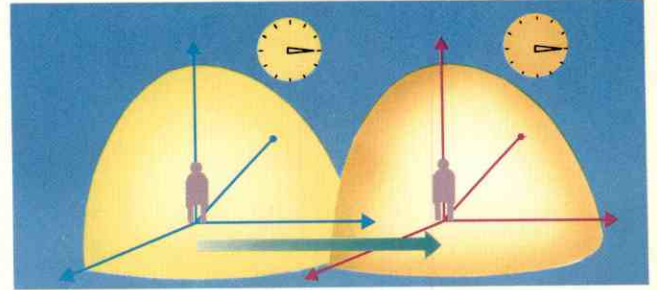


الاقتراب من سرعة الضوء ؟

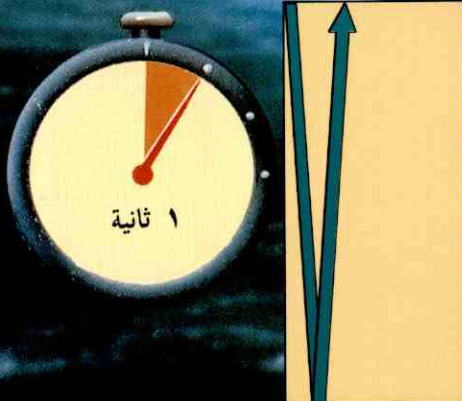
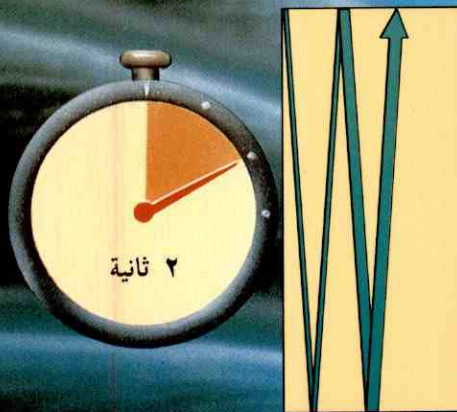
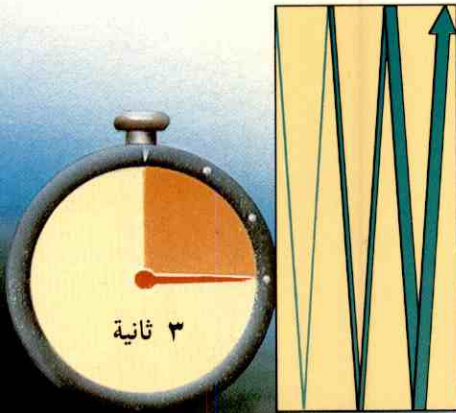
الَّذِي يَحْسِبُهُ مُرَاقِبٌ عَلَى الْأَرْضِ . كَمَا أَنَّ طُولَ الْجِسْمِ قَدْ يَقِلُّ ، وَكُتْلَتُهُ تَزِيدُ . وَلَوْلَا تَجْدِيدُ سُرْعَةِ الضَّوِّ فِي جَمِيعِ الْإِطَارَاتِ الْمُرْجِعِيَّةِ وَفَقًا لِلنَّظَرِيَّةِ النَّسَبِيَّةِ ، فَإِنَّ صَارُوحًا يَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةِ الضَّوِّ سَيَكُونُ طَوْلُهُ صِفْرًا وَكُتْلَتُهُ لَا نِهَائِيَّةً ، وَكِلَاهُمَا نَتَائِجُ مُسْتَحِيلَةٌ .

وَنَظَرِيَّةُ آيْنشتَيْن لَهَا نَتَائِجُ هَامَّةٌ بِالنَّسَبَةِ لِرِحَالَاتِ الْفَضَاءِ فِي الْمُسْتَقْبَلِ . فَبِذَاخِلِ سَفِينَةٍ فَضَاءٍ تَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ تَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوِّ ، يَبْدُو كُلُّ شَيْءٍ عَادِيًّا . وَلَكِنْ بِالنَّسَبَةِ لِلْمُرَاقِبِ عَلَى الْأَرْضِ سَتَظْهَرُ السَّفِينَةُ أَقْصَرَ وَتَكُونُ سُرْعَتُهَا أَبْطَأً . فَرَوَاذُ الْفَضَاءِ الَّذِينَ وَفَقًا لِحَسَابِهِمُ الزَّمَنُ ، قَدْ تَجَوَّلُوا فِي الْفَضَاءِ عَشْرَ سَنَوَاتٍ ، قَدْ يَعُودُونَ إِلَى الْأَرْضِ لِيَجِدُوا أَنَّ قَرْنًا مِنَ الزَّمَانِ قَدْ مَرَّ عَلَى الْأَرْضِ .

فِي عَامِ ١٨٨٧ أَجْرَى الْعَالِمَانِ الْأَمْرِيكَيَانِ أَلْبِرْت مَيْكَلْسُون وَإِدْوَارْد مُورَلِي تَجْرِبَةً اثْبَتَتْ أَنَّ سُرْعَةَ الضَّوِّ ثَابِتَةٌ لِأَيِّ مُشَاهِدٍ . وَاعْتِمَادًا عَلَى هَذِهِ التَّجْرِبَةِ ، فَقَدْ وَضَحَ أَلْبِرْت آيْنشتَيْن فِي نَظَرِيَّتِهِ النَّسَبِيَّةِ بَعْدَ حَوَالِي عِشْرِينَ عَامًا ، أَنَّهُ لَا يُوجَدُ شَيْءٌ سِوَى الضَّوِّ فَقَطْ هُوَ الَّذِي يُمَكِّنُهُ الْإِنْتِقَالُ بِسُرْعَةِ الضَّوِّ وَهِيَ ١٨٦٢٨٢ ميل/ثانية . وَلَكِنْ قَدْ تَحَدَّثَ أَشْيَاءٌ غَرِيبَةٌ لِلْأَجْسَامِ الَّتِي تَتَحَرَّكُ بِسُرْعَةٍ تَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوِّ . فَالزَّمَنُ قَدْ يُبْطِئُ بِالنَّسَبَةِ لِجِسْمٍ يَقْتَرِبُ مِنْ سُرْعَةِ الضَّوِّ إِذَا قُورِنَ بِالزَّمَنِ



سُرْعَةِ الضَّوِّ ثَابِتَةٌ سِوَاءَ أَكَانَ الْمُرَاقِبُ وَاقِفًا (يَمِين) أَوْ مُتَحَرِّكًا (يسار). فَالضَّوُّ يَنْتَشِرُ دَائِمًا بِانْتِظَامٍ مِنْ مَصْدَرِهِ .



8 فيزياء الصوت

تُعجُّ الدُّنيا بالأصوات ، مِنْ هَزِيمِ الرَّعْدِ الْمَسْمُوعِ إِلَى الصَّرَاحَاتِ الْحَادَّةِ . وَظَاهِرَةُ الصَّوْتِ تُعْطِي النَّاسَ مَفَاتِيحَ ثَمِينَةٍ عَنْ بَيْتِهِمْ سَوَاءً أَكَانَ الصَّوْتُ مُنْخَفِضًا أَوْ عَالِيًا ، هَادِئًا أَوْ صَاخِبًا . وَيَحْدُثُ الصَّوْتُ بِسَبَبِ الْمَوْجَاتِ النَّاتِجَةِ عَنْ الْاهْتِرَازَاتِ الْمُتَتَالِيَةِ لِجَسْمٍ ، مِثْلَ الصَّرْبِ عَلَى طَبْلَةٍ . وَتَتَقَلُّ هَذِهِ الْمَوْجَاتُ فِي الْهَوَاءِ وَالْعَازَاتِ الْأُخْرَى وَالسَّوَائِلِ وَالْجَوَامِدِ . وَعِنْدَمَا تَصِلُ إِلَى أُذُنِ شَخْصٍ ، فَإِنَّهُ يَتِمُّ إِدْرَاكُهَا طَبَقًا لِمَوَاصِفَاتِهَا .

وَمِنْ مَوَاصِفَاتِهِ الْمُمَيِّزَةِ ، التَّرْدُّدُ ، وَهُوَ مُعَدَّلُ مُرُورِ الْقِمَمِ وَالْقِيَعَانِ الْمُتَتَالِيَةِ لِمَجْمُوعَةٍ مَوْجَاتٍ بِنُقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ فِي الْفَرَاغِ ، وَيُعْبَرُ عَنِ التَّرْدُّدِ بِالْهَرْتِزِ ، وَهُوَ يُمَثِّلُ عَدَدَ الدَّوَرَاتِ أَوْ الذَّبْذَبَاتِ الْمَوْجِيَّةِ فِي الثَّانِيَةِ . وَتَسْتَطِيعُ الْأُذُنُ الْبَشَرِيَّةُ أَنْ تَسْمَعَ الْأَصْوَاتَ فِي مَدَى التَّرْدُّدِ مِنْ ٢٠ إِلَى ٢٠٠٠٠ هَرْتِزٍ . وَتَرْدُّدُ الْمَوْجَةِ يَنْتَسِبُ إِلَى دَرَجَةِ الصَّوْتِ ، وَالْمَوْجَاتُ ذَاتُ التَّرْدُّدِ الْعَالِي تُحْدِثُ أَصْوَاتًا عَالِيَةَ الطَّبَقَةِ ، وَذَاتُ التَّرْدُّدِ الْمُنْخَفِضِ تُحْدِثُ أَصْوَاتًا مُنْخَفِضَةَ الطَّبَقَةِ . وَشِدَّةُ الصَّوْتِ تَتَوَقَّفُ عَلَى كَمِّيَّةِ الطَّاقَةِ فِي حَجْمٍ مُعَيَّنٍ مِنَ الْفَضَاءِ الَّذِي يَنْتَقِلُ فِيهِ الصَّوْتُ ، وَيَقْيِسُهَا الْعُلَمَاءُ بِوَحْدَةِ تُسَمَّى الدِّيْسِيلِ . وَالْمُحَادَثَاتُ الْعَادِيَّةُ تُسَجَّلُ ٦٠ دِيْسِيلِ ، وَالْمُحَرِّكُ النَّفَاثُ مِنْ ١٤٠ إِلَى ١٦٠ . وَالْأَصْوَاتُ الَّتِي تَرِيدُ شِدَّتَهَا عَلَى ١٢٠ دِيْسِيلِ قَدْ تُتْلِفُ طَبْلَةَ الْأُذُنِ ، بَلْ قَدْ تُفْقَدُ السَّمْعُ نِهَائِيًا .

كُلُّ آلَةٍ مِنْ هَذِهِ الْآلَاتِ لَهَا جَرَسٌ مُمَيِّزٌ ، أَوْ نَوْعٌ صَوْتٍ مُعَيَّنٍ . فَبِالطَّرِيقِ عَلَى السَّطْحِ ، أَوْ النَّفْخِ فِي مَبَسَمٍ ، أَوْ جَذْبِ الْأَوْتَارِ ، يَصْنَعُ الْمَوْسِيقِيُّونَ الْمَوْسِيقَى ، بِإِنْتِاجِ مَوْجَاتٍ صَوْتِيَّةٍ مُخْتَلِفَةِ الطَّبَقَةِ .



كَيْفَ يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ ؟

يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ بِالْمَوْجَاتِ . وَتَنْتَقِلُ هَذِهِ الْمَوْجَاتُ خِلَالَ الْغَازَاتِ وَالسَّوَائِلِ وَالْجَوَامِدِ أَيْضًا . وَالْحَرَكَةُ الْمَوْجِيَّةُ هِيَ بِصِفَةِ رَئِيسِيَّةِ نَقْلِ لِلطَّاقَةِ . وَفِي حَالَةِ الصَّوْتِ ، يَكُونُ هَذَا التَّقْلُ عَلَى هَيْئَةِ حَرَكَاتٍ دَقِيقَةٍ عَلَى الْمُسْتَوَى الْجُزْئِيِّ . وَفِي كُلِّ مِنَ الْغَازَاتِ وَالسَّوَائِلِ وَالْجَوَامِدِ ، تُرَحَّلُ الْمَوْجَةُ الصَّوْتِيَّةُ الْجُزْئِيَّاتُ قَلِيلًا فِي اتِّجَاهِ مُوَازٍ لِنَفْسِهَا ، أَيْ فِي اتِّجَاهِ طَوْلِى . وَفِي الْجَوَامِدِ ، قَدْ تَحْدُثُ الْحَرَكَةُ أَيْضًا فِي اتِّجَاهِ عُمُودِيٍّ عَلَى الْمَوْجَةِ .

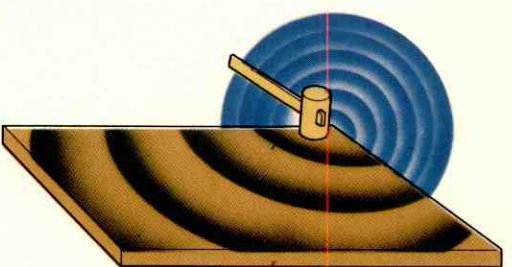
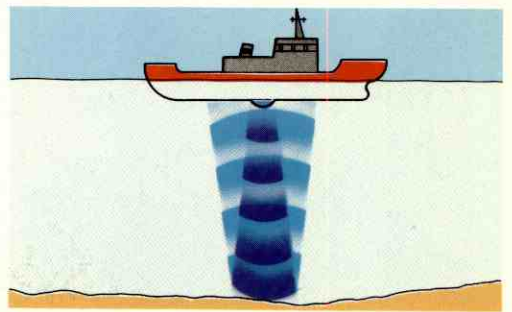
وَتَنْتَشِرُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ مِنْ مَصْدَرِهَا فِي جَمِيعِ الْاتِّجَاهَاتِ (يسار) مِثْلَ طَرَقِ مِطْرَقَةِ الْجَرَسِ عَلَى نَاقُوسِهِ . وَهَذَا الْارْتِجَاجُ الْمِيكَانِيكِيُّ الْمَفْاجِئُ ، جَعَلَ النَّاقُوسَ يَهْتَزُّ . وَطَاقَةُ الْإِهْتِزَازِ تُحَرِّكُ جُزْئِيَّاتِ الْهَوَاءِ الْمُحِيطَةِ ، وَتُدْفَعُهَا بَعِيدًا عَنِ الْجَرَسِ . وَهَذَا التَّمَدُّدُ الْبَسِيطُ لِلْهَوَاءِ الْمُحِيطِ بِالْجَرَسِ يُسَبِّبُ زِيَادَةً فِي الضَّغْطِ ، يَبْدَأُ انْتِشَارُهُ لِلخَارِجِ بَدْءًا مِنَ الْمَصْدَرِ .

وَلَا تَتَوَقَّفُ سُرْعَةُ الصَّوْتِ عَلَى جَهَازَةِ الصَّوْتِ . فَالْأَصْوَاتُ الْمُنْبَعَثَةُ مِنْ مِذْيَاحٍ فِي حُجْرَةٍ ، كُلُّهَا تَصِلُ إِلَى الْمُسْتَمِعِ فِي وَقْتٍ وَاحِدٍ ، سَوَاءً أَكَانَتْ مُرْتَفِعَةً أَوْ خَفِيفَةً ، ذَاتَ تَرْدُدٍ عَالٍ أَوْ مُنْخَفِضٍ .

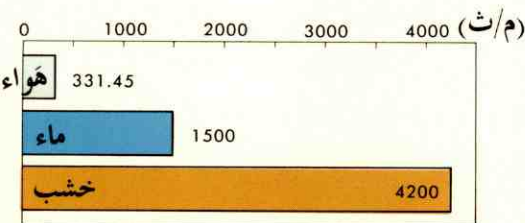
تَحْسُسُ الْأَعْمَاقِ بِالصَّوْتِ

تَخْتَلِفُ سُرْعَةُ انْتِقَالِ الصَّوْتِ طَبَقًا لِنَوْعِ الْوَسْطِ الَّذِي يَمُرُّ خِلَالَهُ وَدَرَجَةِ حَرَارَةِ الْوَسْطِ . وَتَنْتَقِلُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ بِطَءٍ خِلَالَ الْغَازَاتِ لِأَنَّهُ يَسْهُلُ ضَغْطُ تَرْكِيبِهَا الْجُزْئِيِّ . وَتَزْدَادُ سُرْعَتُهُ فِي السَّوَائِلِ ، وَيُصْبِحُ أَسْرَعُ فِي الْجَوَامِدِ ، كَمَا يَظْهَرُ فِي الْجَدُولِ التَّالِيِ بِالْمِثَرِ/ثَانِيَةٍ .

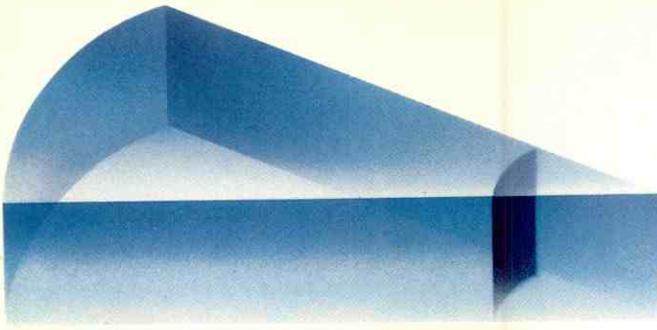
أَشِعَّةُ السُّونَارِ ، الْمَكُونَةُ مِنْ مَوْجَاتٍ صَوْتِيَّةٍ تَمُرُّ بِسَهُولَةٍ خِلَالَ أَمْوَاجِ الْمُحِيطِ . وَيَسْتَنِدُ السُّونَارُ إِلَى حَقِيقَةِ انْعِكَاسِ الصَّوْتِ عَلَى قَاعِ الْمُحِيطِ ، وَيُسْتَعْدَمُ لِتَحْسُسِ تَضَارِيسِ قَاعِ الْمُحِيطِ ، أَوْ تَحْسُسِ أَجْسَامٍ تَحْتَ الْمَاءِ .



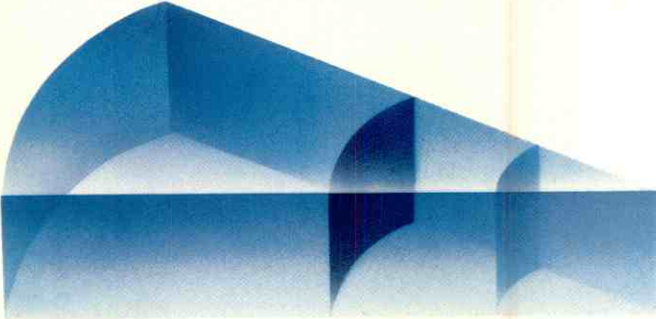
جَوَامِدُ مَرْنَةٌ يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ خِلَالَ لَوْحٍ مِنْ الْخَشَبِ . وَتَتَصِلُ جُزْئِيَّاتُ مُعْظَمِ الْجَوَامِدِ فِي نِظَامِ شَبَكِيٍّ مَبْنِيٍّ لَا يَسْهُلُ ضَغْطُهُ ، وَلَكِنَّهُ يَسْهُلُ مُرُورَ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ .



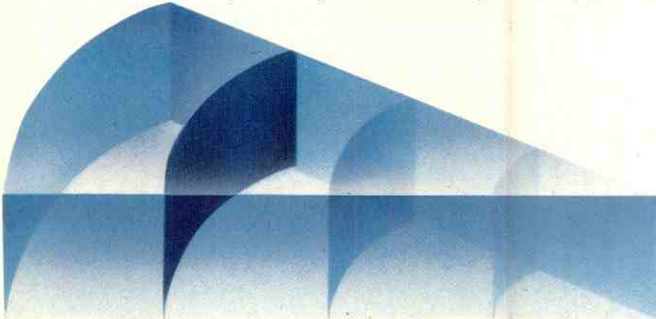
دَقُّ الْجَرَسِ



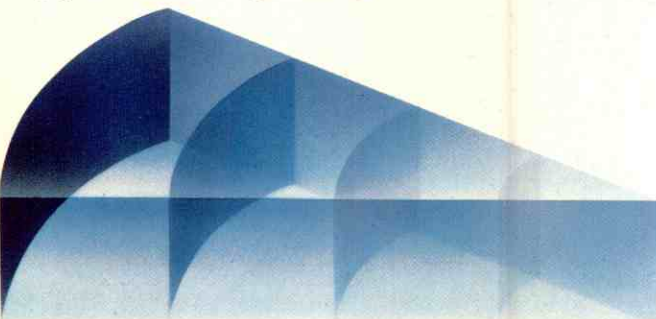
صَدْرُ مَوْجَةٍ صَوْتِيَّةٍ تَتَحَرَّكُ لِلخَارِجِ مِنْ جَرَسٍ مُهْتَزٍّ .



وَتَتَقَدَّمُ بِسُرْعَةٍ ثَابِتَةٍ خِلَالَ الْهَوَاءِ الْمُنْتَظِمِ دَرَجَةَ الْحَرَارَةِ .



وَيَتَّبِعُهَا صَدْرُ مَوْجَةٍ ثَانِيَةٍ عَلَى بُعْدٍ مُعَيَّنٍ هُوَ الطُّولُ الْمَوْجِي .



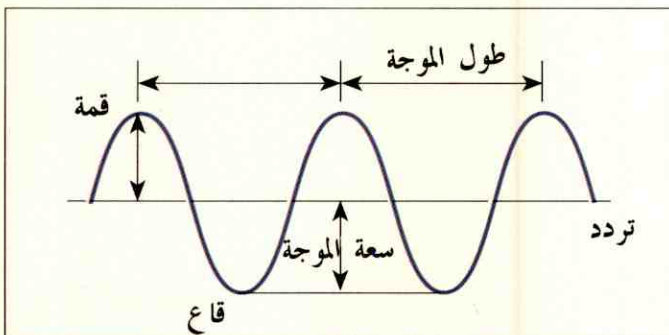
تَكُونُ الْمَوْجَاتُ أَقْوَى بِالقُرْبِ مِنَ الْمَصْدَرِ .

مَسَارُ الْمَوْجَةِ

تَنْتَشِرُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ فِي الْهَوَاءِ (يَمِين)،
فَتَتَقَدَّمُ صُدُورُ الْمَوْجَاتِ إِلَى الْخَارِجِ عَلَى
مَسَافَاتٍ مُعَيَّنَةٍ تَتَوَقَّفُ عَلَى تَرْدُدِ الْجَرَسِ .
وَيَتَحَدَّدُ تَرْدُدُ مَوْجَةِ الصَّوْتِ بِعَدَدِ صُدُورِ
الْمَوْجَاتِ الَّتِي تَمُرُّ بِنُقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ فِي زَمَنِ
مُعَيَّنٍ .

رَسْمُ مَوْجَةٍ غَيْرِ مَرْتَبِيَّةٍ .

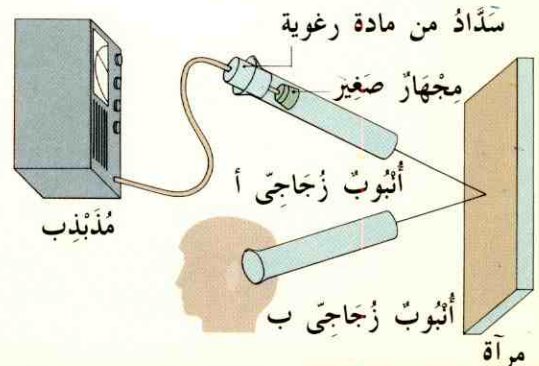
تُمَثِّلُ مَوْجَةُ صَوْتٍ بَسِيطَةً بَيَانِيًّا بِحِطِّ مَتَمَوِّجٍ (يسار). وَالْقِمَمُ
تُمَثِّلُ تَضَاعُطًا جُزْئِيًّا ، وَالْقِيَعَانُ تَمَلُّدًا مَرْنًا يَحْدُثُ بَعْدَ مُرُورِ
صَدْرِ الْمَوْجَةِ . وَبِازْدِيَادِ تَعْقِيدِ الصَّوْتِ يَزْدَادُ عَدَدُ الْقِمَمِ
وَالْقِيَعَانِ الَّتِي تُصَوِّرُ شَكْلَ الْمَوْجَةِ . وَالْأَصْوَاتُ الْمُرْتَفِعَةُ ذَاتُ
الطَّاقَةِ الْكَبِيرَةِ تَكُونُ مَوَاجِئَهَا ذَاتَ ارْتِفَاعٍ كَبِيرٍ أَوْ سِعَةٍ دَبْدَبَةٍ
كَبِيرَةٍ .



كَيْفَ يَحْدُثُ الصَّدَى ؟

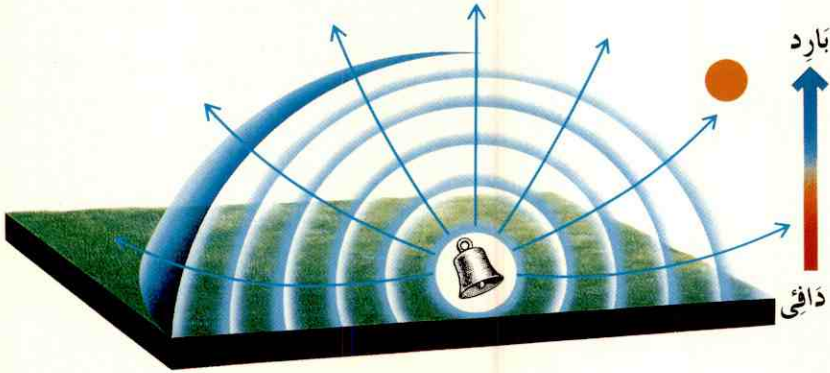
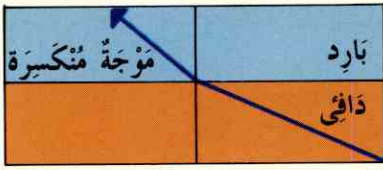
يَحْدُثُ الصَّدَى عِنْدَمَا تَصْطَلِمُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ الْمُتَحَرِّكَةُ مِنْ مَصْدَرٍ — وَتُسَمَّى مَوْجَاتٍ سَاقِطَةً — بِحَاجِزٍ جَامِدٍ مِثْلِ جَبَلٍ . فَتَنْعَكِسُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ أَوْ تَرْتَدُّ عَنْ مِثْلِ هَذِهِ الْحَوَاجِزِ بِزَاوِيَةٍ مُسَاوِيَةٍ لِزَاوِيَةِ السَّقُوطِ .
وَأَهْمُ عَامِلٍ لِحُدُوثِ الصَّدَى هُوَ الْمَسَافَةُ بَيْنَ مَصْدَرِ الصَّوْتِ وَالْحَاجِزِ . فَإِذَا كَانَ الْحَاجِزُ قَرِيبًا ، فَإِنَّ الْمَوْجَاتِ الْمُنْعَكِسَةَ تَعُودُ بِسُرْعَةٍ كَافِيَةٍ لَاتَسْمَحُ بِاخْتِلَاطِهَا مَعَ الْمَوْجَاتِ الْأَصْلِيَّةِ ، فَلَا يَحْدُثُ الصَّدَى . وَإِذَا كَانَ الْحَاجِزُ عَلَى بُعْدٍ ٥٠ قَدَمًا عَلَى الْأَقْلَ ، فَلَنْ تَعُودَ الْمَوْجَاتُ الْمُنْعَكِسَةُ إِلَّا بَعْدَ تَوَقُّفِ الْمَوْجَاتِ السَّاقِطَةِ . وَسَيَسْمَعُ الْمُسْتَمِعُونَ الصَّوْتَ مُكَرَّرًا ، كَمَا لَوْ كَانَ صَادِرًا مِنَ الْحَاجِزِ . وَيَجِبُ أَنْ يَضَعُ مُهَنْدِسُو الصَّوْتِ فِي الْأَعْتِبَارِ حُدُوثَ الصَّدَى ، عِنْدَ تَصْمِيمِهِمْ لِقَاعَاتِ الْمُحَاضَرَاتِ وَالْمُوسِيقَى ، وَذَلِكَ بِإِضَافَةِ مَوَادٍّ مَاصَّةٍ لِلْأَصْوَاتِ وَتَنْفِيدِ تَصْمِيمَاتٍ تُقَلِّلُ الْإِنْعِكَاسَاتِ الصَّوْتِ .

فِي هَذِهِ التَّجْرِبَةِ ، نَمُرُّ مَوْجَاتٍ مُنْخَفِضَةً التَّرْدُّدِ مِنْ مُدْبِذٍ خِلَالِ أَنْبُوبِ زُجَاجِيٍّ (أ)، ثُمَّ تَنْعَكِسُ عَلَى مِرَاةٍ ، فَتَدْخُلُ فِي أَنْبُوبِ (ب). وَتُثَبِّتُ التَّجْرِبَةُ أَنَّ زَاوِيَةَ الْإِنْعِكَاسِ = زَاوِيَةَ السَّقُوطِ .



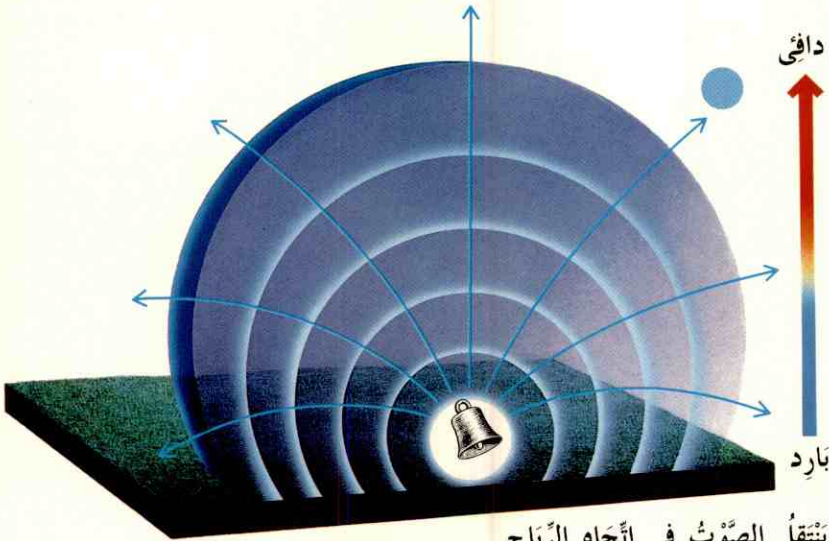
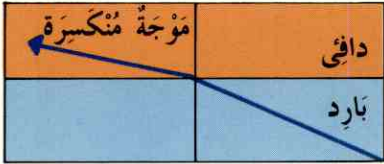
سَرِيعٌ فِي النَّهَارِ

يُسْرِعُ الصَّوْتُ فِي الْهَوَاءِ الدَّافِئِ قَرِيبًا
مِنَ الْأَرْضِ (أَسْفَلَ) وَلَكِنَّهُ يُبْطِئُ عِنْدَمَا
يَصِلُ إِلَى الطَّبَقَاتِ الْعُلْيَا الْبَارِدَةِ .
وَيَسَبِّبُ هَذَا فِي انْكِسَارِ الْمَوْجَةِ
الصَّوْتِيَةِ إِلَى أَعْلَى .



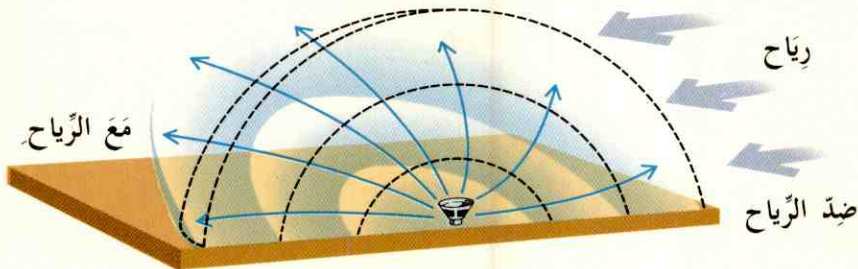
بَطِئٌ فِي اللَّيْلِ

دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ الْبَارِدَةِ لَيْلًا عَلَى الْأَرْضِ
تُبْطِئُ مَسَارَ الصَّوْتِ (أَسْفَلَ) . بَيْنَمَا
تَعْمَلُ الطَّبَقَاتُ الْعُلْيَا الْأَدْفَا عَلَى إِسْرَاعِ
الصَّوْتِ .



يَنْتَقِلُ الصَّوْتُ فِي اتِّجَاهِ الرِّيحِ

يَتَحَرَّكُ الصَّوْتُ بِسُرْعَةٍ أَكْبَرَ بَعِيدًا عَنِ سَطْحِ الْأَرْضِ ، عَنْهُ بِالْقُرْبِ مِنْ سَطْحِ
الْأَرْضِ . وَعِنْدَمَا تَنْتَشِرُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ مِنَ الْأَرْضِ ، فَإِنَّهَا تَنْتَقِلُ فِي اتِّجَاهِ
الرِّيحِ . وَالْمُسْتَمِعُ فِي مَكَانٍ ضِدَّ الرِّيحِ يَسْمَعُ صَوْتًا خَافِتًا . أَمَّا الْمُسْتَمِعُ فِي مَكَانٍ
مَعَ الرِّيحِ فَإِنَّهُ يَسْمَعُ الْجَرَسَ عَلَى بُعْدٍ كَبِيرٍ .

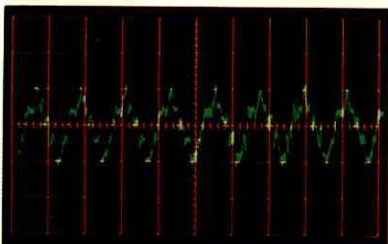
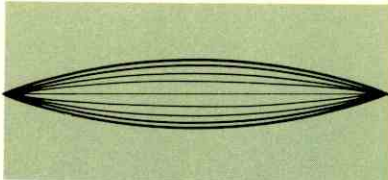


كَيْفَ تَحْدُثُ النِّعَمَاتُ ؟

يُخْرِجُ الْمَوْسِيقِيُّونَ مِنَ الْآلَاتِ نِعَمَاتٍ أَوْ نُوتًا مُوسِيقِيَّةً مُتَوَعَّةَ الطَّبَقَةِ ، بِالتَّحَكُّمِ فِي مَصْدَرِ الْأَهْتِرَازَاتِ الصَّوْتِيَّةِ . وَعِنْدَمَا يَمُرُّ عَازِفُ الْكَمَانِ قَوْسَهُ عَلَى الْوَتْرِ ، يَهْتَرُّ الْوَتْرُ أَوْ يَتَذَبَذَبُ . وَتَتَقَلُّ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ أَعْلَى وَأَسْفَلَ الْوَتْرِ ، مُكَوَّنَةً أَشْكَالًا تُسَمَّى مَوْجَاتٍ مُسْتَقَرَّةً . وَبِالْمِثْلِ ، عِنْدَمَا يَنْفُخُ عَازِفُ الْفُلُوتِ الْهَوَاءَ فِي الْمَبْسَمِ ، تَتَكَوَّنُ الْمَوْجَاتُ الْمُسْتَقَرَّةُ فِي الْهَوَاءِ دَاخِلَ الْفُلُوتِ . وَكُلُّ مَوْجَةٍ تُحْدِثُ نِعْمَةً مُخْتَلِفَةً . وَأَخْفَضُ نِعْمَةٍ يُنتِجُهَا وَتَرٌ أَوْ عَمُودٌ هَوَائِي تُسَمَّى النِّعْمَةُ الْأَسَاسِيَّةُ . وَفِي كُلِّ مَرَّةٍ تُصْدِرُ هَذِهِ النِّعْمَةُ ، تُصَاحِبُهَا نِعَمَاتٌ تَوَافُيَّةٌ ذَاتُ دَرَجَةٍ أَعْلَى ، وَذَلِكَ عِنْدَمَا تَتَكَسَّرُ النِّعْمَةُ الْأَسَاسِيَّةُ إِلَى قِطَاعَاتٍ . وَالصَّوْتُ الْمُمَيِّزُ أَوْ جَرَسُ أَيِّ آلَةٍ ، سَبَبُهُ الضَّعْفُ أَوْ الْقُوَّةُ النَّسْبِيَّةُ لِلنِّعَمَاتِ التَّوَافُيَّةِ .

وَتْرٌ مُعْنَى

يَهْتَرُّ وَتْرُ الْكَمَانِ عِنْدَ التَّرْدُّدِ الْأَسَاسِيِّ . وَيُمْكِنُ رَسْمُ الصَّوْتِ عَلَى رَاسِمٍ دَبْذَبَاتٍ فِي شَكْلِ مَوْجَةٍ مُعَقَّدَةٍ (أَسْفَلَ)، وَهِيَ نَمَطِيَّةٌ لِلآلَاتِ الْوَتْرِيَّةِ .



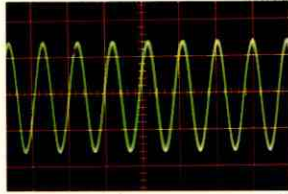
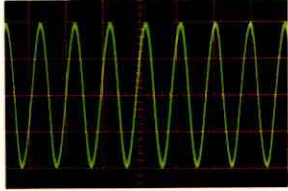
مَلِكُ الْآلَاتِ الْوَتْرِيَّةِ

يَرْجِعُ صَوْتُ الْكَمَانِ الرَّقِيقِ الْمُمَيِّزُ بِصِفَةِ جَوْهَرٍ إِلَى جِسْمِهَا الْحَشَشِيِّ . وَتَهْتَرُّ الْأَوْتَارُ ، بِإِمْرَارِ الْقَوْسِ عَلَيْهَا أَوْ جَذْبِهَا ، فَتَهْتَرُّ بِنَفْسِ التَّرْدُّدِ الْأَجْزَاءِ الْحَشَشِيَّةِ مِنَ الْآلَةِ . وَهَذَا يُكَبِّرُ الصَّوْتَ فَيُصْبِحُ مَسْمُوعًا بِدَرَجَةٍ كَافِيَةٍ .

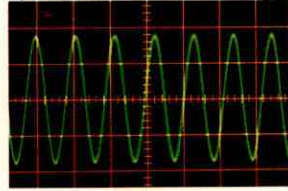
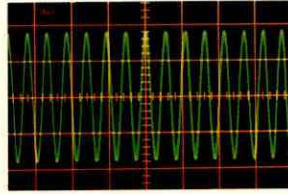


آلة نفخ رَخِيمَة الصَّوْتِ
مَوْجَاتُ الهَوَاءِ الْمُتَرَدِّدَةُ تَتَدَبَّدُ
فِي الْفُلُوتِ . وَتَكُونُ هَذِهِ
الْمَوْجَاتُ أَشْكَالًا مُمَاتِلَةً لِأَشْكَالِ
وَتَرٍ مُهْتَزٍّ .

تَرْكِيبُ الْمَوْجَاتِ



أَصْوَاتٌ مُرْتَفَعَةٌ وَخَفِيفَةٌ



دَرَجَاتٌ عَالِيَةٌ وَمُنْخَفِضَةٌ

إِشَارَاتُ رَاسِمِ الدَّبْدَبَاتِ تُوضِّحُ
اِخْتِلَافَ شِدَّةِ وَدَرَجَةِ الصَّوْتِ .
وَتُقَاسُ الْأَصْوَاتُ الْمُرْتَفَعَةُ وَالْهَادِئَةُ
(يسار) بِالْدَيْسِيلِ . وَيَتَعَرَّفُ النَّاسُ
عَادَةً عَلَى الْمَوْجَاتِ بَيْنَ ١٢٠، ١
دَيْسِيلِ . وَدَرَجَاتُ الصَّوْتِ الْعَالِيَةِ
وَالْمُنْخَفِضَةِ (تحتها) تُنْسَبُ إِلَى
التَّرْدُدِ ، وَهُوَ مُعَدَّلُ مُرُورِ الْقِمَمِ
وَالْقِيَعَانِ لِمَوْجَةٍ بِنُقْطَةٍ مُعَيَّنَةٍ .

جِهَازُ الْمَوْجَةِ

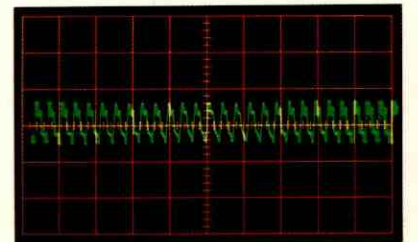
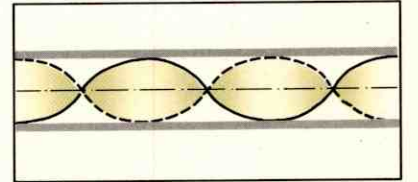
يُرْسَمُ رَاسِمُ الدَّبْدَبَاتِ أَشْكَالَ
مَوْجَاتِ الصَّوْتِ . فَالْأَصْوَاتُ عَالِيَةِ
الدَّرَجَةِ يَكُونُ طَوْلِهَا الْمَوْجِيُّ
قَصِيرًا ، وَالْمُنْخَفِضَةُ الدَّرَجَةِ ذَاتُ
طَوْلِ مَوْجِيٍّ طَوِيلٍ .



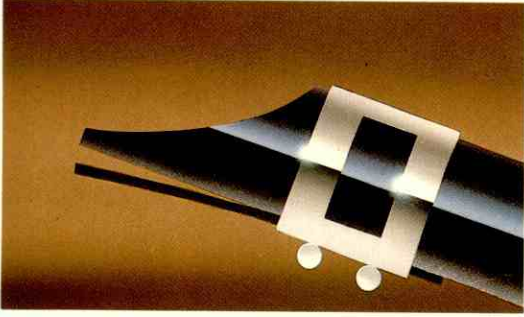
يُمْكِنُ رُؤْيُهُ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ عَلَى
شَاشَةِ رَاسِمِ دَبْدَبَاتِ
(أو سيلوسكوب) .

صَوْتُ التَّنْفُسِ

تُظْهِرُ التَّعَمَّاتُ التَّوَاقُفِيَّةُ كَأَقْسَامٍ فِي
مَوْجَةٍ مَوْقُوفَةٍ فِي عُمُودِ الْهَوَاءِ
أَسْفَلِ . وَتَحْتَهَا يَظْهَرُ شَكْلُ
الْمَوْجَةِ الْبَسِيطَةِ الْمُمَيَّزَةِ لِهَذَا
الصَّوْتِ . وَالْأَلَةُ النَّفْخُ لَهَا صَوْتٌ
مُبَاشِرٌ نَاعِمٌ .



كيف تعمل آلات النفخ الموسيقية ؟



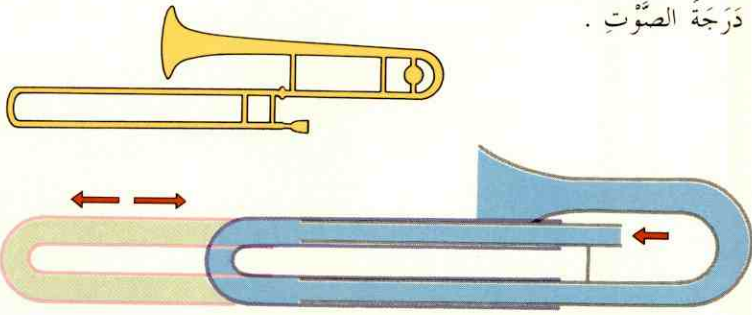
لسان مزمار ربيع في مبسم كلارينيت (أعلى)
يهتز عندما ينفخ العازف فيه . وتنتقل الاهتزازات
إلى أسفل الأنبوب كموجات تضاعف .

لأحداث نغمات مختلفة بآلة نفخ موسيقية ، مثل الكلارينيت (يسار) ،
ينفخ العازف في المبسم وهو يضغط على المفاتيح الشبيهة بالروافع
لتكشف الفتحات على طول جسم الآلة . وهذا يسبب تبدل الطول
الموجي للموجات المستقرة الذي يتحدد بطول عمود الهواء داخل
الآلة . كما أنه يسبب أيضاً انخفاضاً أو ارتفاعاً في درجة الصوت .
وفي الآلات النحاسية — مثل البوق والتوبة — يغير العازف وضع
فيه ويضغط على صمامات تغير طول عمود الهواء .
وفي المترددة أو النفخ النحاسية ، يتم ضبط عمود الهواء بإزلاق
الأنبوب المقوس للقاعدة إلى الداخل والخارج . وتغطي فتحات
آلات النفخ الموسيقية البسيطة — مثل الفلوت والسرناي — بأصابع
اليدين لتحدث نفس التأثير .



سلم موسيقي منزلق

في المترددة المنزلة ، يتصل بجسم الآلة بإحكام أنبوب نحاسي مقوس .
وتحرك هذا الأنبوب إلى الداخل والخارج ، يغير طول عمود الهواء ، فتغير
درجة الصوت .



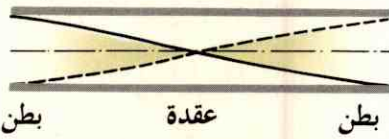
آلة من سلالة قديمة

الكلارينيت المعقدة (أعلى) تنتمي إلى مزمار الحيزران
الخام والفلوت البدائي الذي صنع في الحضارات
الأولى . وأقدم آلة هوائية موسيقية سبقت آلات الوترية
بآلاف السنين . والفوهة القمعية الشكل للكلارينيت
تسمح بسرّيان ديناميكي لموجات الصوت في الهواء .

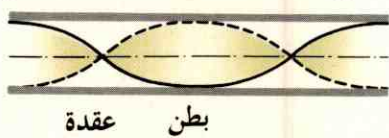


المَوَاجَاتُ المُسْتَقِرَّةُ فِي الأَنْايِبِ المُفْتُوحَةِ

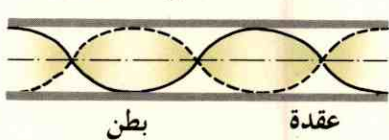
نِعْمَةٌ أُسَاسِيَّةٌ



نِعْمَةٌ تَوَافِقِيَّةٌ أُولَى



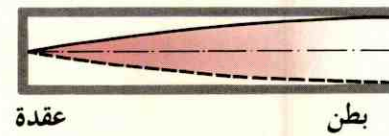
نِعْمَةٌ تَوَافِقِيَّةٌ ثَانِيَّةٌ



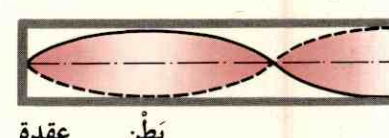
فِي أُثْبُوبٍ مُفْتُوحٍ الطَّرَفَيْنِ ، تَتَكَوَّنُ مَوَاجَاتُ مُسْتَقِرَّةٌ ،
ذَاتُ بَطُونٍ (قِطَاعَاتٍ مُهْتَزَّةٍ) عِنْدَ طَرَفَيْ الأُثْبُوبِ .

المَوَاجَاتُ المُسْتَقِرَّةُ فِي الأَنْايِبِ المُقْفَلَةِ

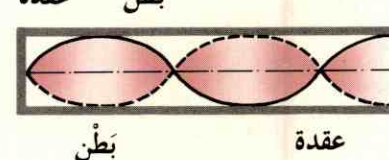
نِعْمَةٌ أُسَاسِيَّةٌ



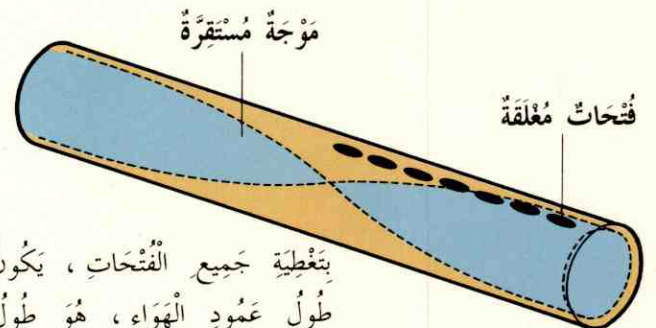
نِعْمَةٌ تَوَافِقِيَّةٌ أُولَى



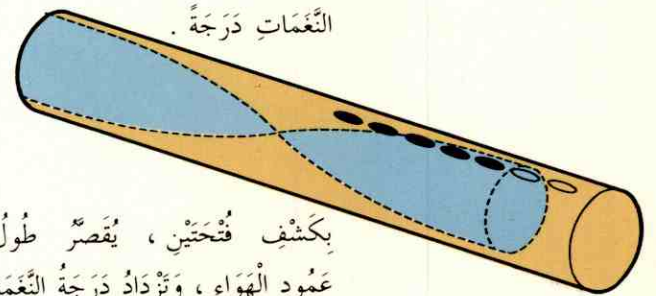
نِعْمَةٌ تَوَافِقِيَّةٌ ثَانِيَّةٌ



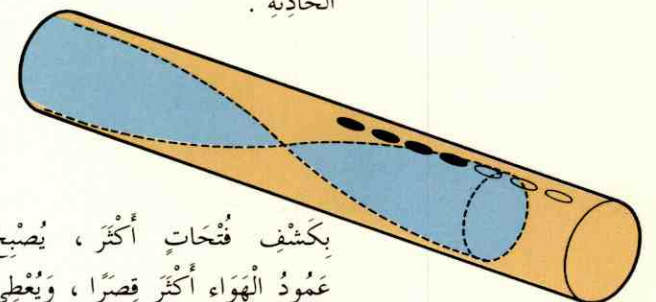
فِي أُثْبُوبٍ مُفْتُوحٍ مِنْ طَرَفٍ وَاحِدٍ ، تَتَكَوَّنُ مَوَاجَاتُ
مُسْتَقِرَّةٌ ، ذَاتُ بَطُونٍ عِنْدَ الطَّرَفِ المُفْتُوحِ ، وَذَاتُ
عُقَدٍ (قِطَاعَاتٍ سَاكِنَةٍ) عِنْدَ الطَّرَفِ المُقْفَلِ .



بِتَغْطِيَةِ جَمِيعِ الفُتَحَاتِ ، يَكُونُ
طُولُ عَمُودِ الهَوَاءِ ، هُوَ طُولُ
الأُثْبُوبِ ، وَتَحْدُثُ انْحِفَاضُ
النِّعْمَاتِ دَرَجَةً .



بِكَشْفِ فُتَحَتَيْنِ ، يُقْصَرُ طُولُ
عَمُودِ الهَوَاءِ ، وَتَزْدَادُ دَرَجَةُ النِّعْمَةِ
الْحَادِثَةِ .



بِكَشْفِ فُتَحَاتٍ أَكْثَرَ ، يُصْبِحُ
عَمُودُ الهَوَاءِ أَكْثَرَ قِصْرًا ، وَيُعْطَى
نِّعْمَاتٌ أَعْلَى دَرَجَةٍ .

مَا هُوَ تَأْثِيرُ دُوبِلَر ؟

تَأْثِيرُ دُوبِلَر هُوَ التَّغْيِيرُ الْمَعْرُوفُ فِي الصَّوْتِ وَالَّذِي يَحْدُثُ عِنْدَمَا يَكُونُ مَصْدَرُ الصَّوْتِ مُتَحَرِّكًا بِالنِّسْبَةِ لِلْمُسْتَمِعِ . فَإِذَا كَانَ الْمُسْتَمِعُ سَاكِئًا ، فَإِنَّ الصَّوْتَ يَبْدُو كَأَن دَرَجَتَهُ تَزْدَادُ تَدْرِيجِيًّا بِاقْتِرَابِ الْمَصْدَرِ ، وَثِقَلُ عِنْدَ مُرُورِهِ بِالْمُسْتَمِعِ مُبْتَعِدًا عَنْهُ . وَيَحْدُثُ تَأْثِيرُ دُوبِلَر بِوَاسِطَةِ صُدُورِ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ الَّتِي تَصِلُ إِلَى الْمُسْتَمِعِ

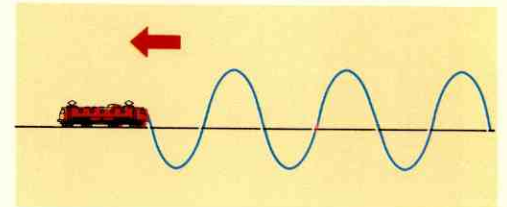


قِطَارٌ قَادِمٌ يُصَفِّرُ بِصَوْتٍ حَادٍّ



قِطَارٌ مُبْتَعِدٌ

عِنْدَمَا يَتْبَعُ الْقِطَارُ ، تَسْتَعْرِقُ صُدُورُ مَوْجَاتِ صَفَّارَتِهِ وَقْتًُا أَطْوَلَ لِتَصِلَ إِلَى الْمُسْتَمِعِ ، فَيَحْسُ الْمُسْتَمِعُ بِانْخِفَاضِ دَرَجَةِ الصَّوْتِ .



خِذَاغُ تَصْنَعُهُ الْحَرَكَةُ

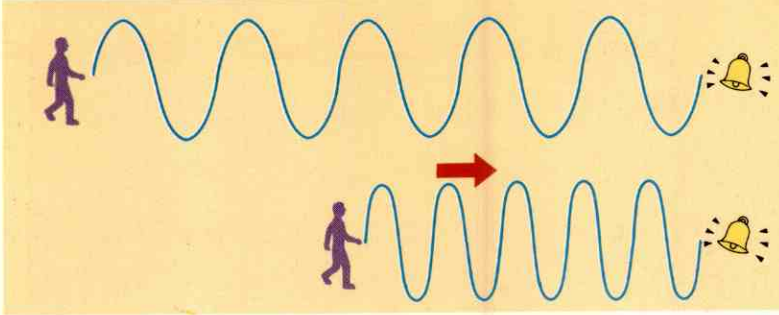
الْمُسْتَمِعُ دَاخِلُ قِطَارٍ ، يُحْسُ أَنَّ دَرَجَةَ صَوْتِ الصَّفَّارَةِ ثَابِتٌ . وَلَكِنْ لِلْمُسْتَمِعِ خَلْفَ الْقِطَارِ أَوْ أَمَامَهُ (فَوْقَ ، يَسَارَ) تَتَغَيَّرُ دَرَجَةُ النَّعْمَةِ بِسَبَبِ اخْتِلَافِ الْمَسَافَةِ بَيْنَ صُدُورِ الْمَوْجَاتِ .

بِتَرَدُّدٍ أَكْبَرَ عِنْدَمَا يَقْتَرِبُ الْمَصْدَرُ مِنَ الْمُسْتَمِعِ . وَيَصْحَبُ هَذِهِ الزِّيَادَةُ فِي التَّرَدُّدِ ، نَقْصٌ فِي الطُّولِ الْمَوْجِي . وَكَمَا نَعْلَمُ ، فَإِنَّهُ كُلَّمَا زَادَ تَرَدُّدُ صَوْتٍ ، زَادَتْ دَرَجَةُ الصَّوْتِ . وَيَحْدُثُ الْعَكْسُ ، عِنْدَمَا يَتْبَعُ مَصْدَرُ الصَّوْتِ عَنِ الْمُسْتَمِعِ . فَيَنْخَفِضُ التَّرَدُّدُ ، وَيَزْدَادُ الطُّولُ الْمَوْجِي ، وَتُصْبِحُ النَّعْمَةُ الظَّاهِرِيَّةُ لِلصَّوْتِ بَعِيدَةً عَنِ الْمُسْتَمِعِ . فَيَنْخَفِضُ التَّرَدُّدُ ، وَيَزْدَادُ الطُّولُ الْمَوْجِي ، وَتُصْبِحُ النَّعْمَةُ الظَّاهِرِيَّةُ لِلصَّوْتِ ، أَخْفَضَ فَأَخْفَضَ .

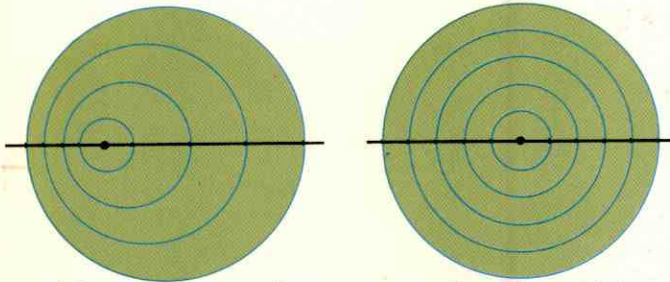
وَيُلَاحَظُ تَأْثِيرُ دُوبِلَر عَادَةً فِي صَفَّارَاتِ الْقِطَارَاتِ الْعَابِرَةِ ، وَمُرُورِ سَيَّارَةِ الْإِسْعَافِ أَوْ الشَّرْطَةِ ، وَالطَّائِرَاتِ النَّفَّاثَةِ الَّتِي تَحْتَرِقُ الْهَوَاءَ .

مَنْظَرٌ مُتَبَدِّلٌ

وَلَفَهِمْ تَأْثِيرٌ دُوْبِلَرٍ بِطَرِيقَةٍ أُخْرَى ، نَتَصَوَّرُ
مُسْتَمِعًا يَقْتَرِبُ مِنَ الصَّوْتِ . فَكُلَّمَا زَادَ اقْتِرَابُهُ
مِنَ الْجَرَسِ ، زَادَتْ سُرْعَةُ وُضُوعِ صُدُورِ
الْمَوْجَاتِ إِلَيْهِ ، وَزَادَتْ دَرَجَةُ صَوْتِ الْجَرَسِ
الَّذِي يَسْمَعُهُ .



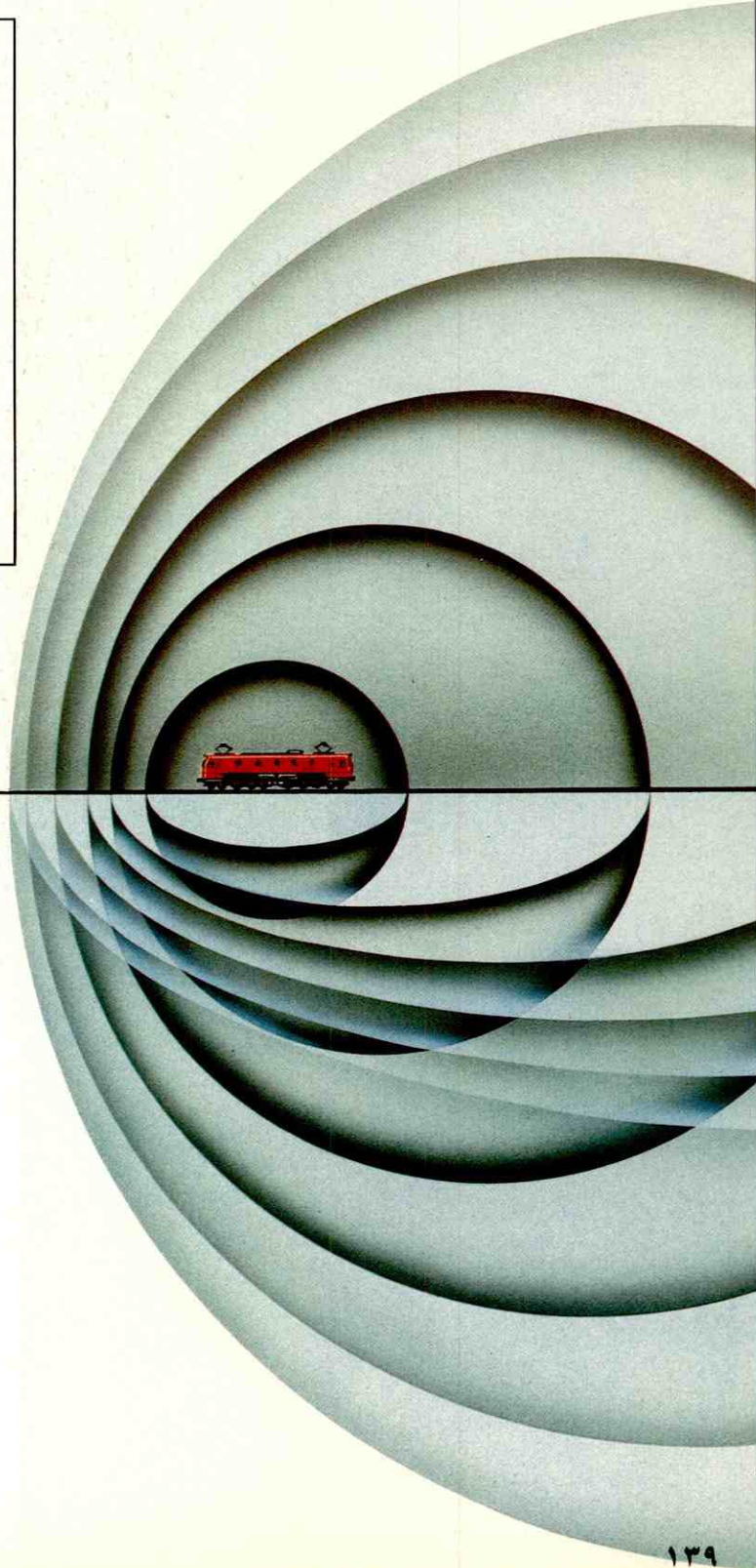
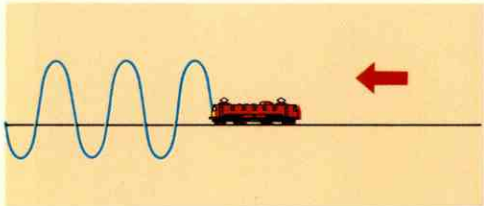
مَنْظَرَانِ مِنَ أَعْلَى



تَتَحَرَّكُ مَوْجَاتُ الصَّوْتِ مِنْ مَصْدَرٍ ثَابِتٍ فِي دَوَائِرٍ مَرَكَزِيَّةٍ
(أعلى). أَمَّا الْمَوْجَاتُ مِنْ مَصْدَرٍ مُتَحَرِّكٍ (أعلى — يسار) فَتُدْفَعُ
أَمَامَ الْمَصْدَرِ . وَيَنْضَغُظُ طَوَّلُ الْمَوْجَاتِ ، فَتَعْلُو دَرَجَةُ
الصَّوْتِ .

قِطَارٌ مُقْتَرِبٌ

كُلَّمَا زَادَ اقْتِرَابُ الْقِطَارِ ، تَصِلُ صُدُورُ مَوْجَاتِ
الصَّوْتِ أَسْرَعَ إِلَى الْمُسْتَمِعِ ، وَيَبْدُو الصَّوْتُ
كَأَنَّ دَرَجَتَهُ زَادَتْ .



مَا هِيَ الْفَرْقَةُ الصَّوْتِيَّةُ؟

الْفَرْقَةُ الصَّوْتِيَّةُ هِيَ الصَّوْتُ الرَّغْدِيُّ الَّذِي يَمْلَأُ السَّمَاءَ حِينَ تَطِيرُ طَائِرَةٌ بِسُرْعَةٍ تَزِيدُ عَلَى سُرْعَةِ الصَّوْتِ ، مُخْتَرَفَةً حَاجِزَ الصَّوْتِ . وَبِمَا أَنَّ الطَّائِرَةَ تُعْجَلُ حَتَّى هَذِهِ السَّرْعَةُ ، الْمُسَمَّاةُ «مَاح ١» ، فَإِنَّهَا تُضْعَفُ الْهَوَاءَ أَمَامَهَا وَبِجَانِبِهَا (مَاح ١ تَوْجَدُ بَعْدَهُ سُرْعَاتٌ ، لِأَنَّ سُرْعَةَ الصَّوْتِ تَحْتَلِفُ ، وَقِيَمَتُهَا عِنْدَ مُسْتَوَى سَطْحِ الْبَحْرِ وَدَرَجَةِ الصَّفَرِ الْمَيَوِيِّ = ٣٤٣ متر/ثانية أو ١١٠٠ قدم/ثانية).

وَبَعْدَ مُرُورِ النَّفَاثَةِ ، يَتَمَدَّدُ الْهَوَاءُ ثَانِيَةً . وَكُلَّمَا زَادَتْ سُرْعَةُ الطَّائِرَةِ الْمَارَةِ ، كُلَّمَا زَادَتْ كَمِّيَّةُ الطَّاقَةِ الْمَحْبُوسَةِ الَّتِي سَوْفَ تُنْطَلِقُ عِنْدَ هَذَا التَّمَدُّدِ . وَعِنْدَمَا تَطِيرُ الطَّائِرَةُ بِسُرْعَةٍ تُفَوِّقُ سُرْعَةَ الصَّوْتِ ، أَيْ أَكْبَرَ مِنْ «مَاح ١» ، فَإِنَّ التَّمَدُّدَ يَحْدُثُ بِسُرْعَةٍ كَبِيرَةٍ تُفَوِّقُ سُرْعَةَ الْجُزْئِيَّاتِ الَّتِي تُصْطَلِّدُ بِالْحَاجِزِ الْهَوَائِيِّ الْمُحِيطِ بِالطَّائِرَةِ ، وَتَنْشَأُ فَرْقَةُ صَوْتِيَّةٌ وَمَوْجَاتٌ صَدْمِيَّةٌ قَوِيَّةٌ . وَهَذِهِ الْمَوْجَاتُ الصَّدْمِيَّةُ تَتَمَاجُجُ إِلَى الْخَارِجِ فِي مَخْرُوطٍ مُتَزَايِدِ الْإِتْسَاعِ . وَإِذَا كَانَتْ الطَّائِرَةُ قَرِيبَةً مِنَ الْأَرْضِ عِنْدَمَا تَحْدُثُ الْفَرْقَةُ الصَّوْتِيَّةُ (يسار)، فَإِنَّ الْمَوْجَاتُ الصَّدْمِيَّةُ تَتَقَاطَعُ مَعَ الْأَرْضِ . وَتَكُونُ قَوِيَّةً بِدَرَجَةِ كَافِيَةٍ لِتَحْرِيبِ الْمُنْشآتِ ، وَأَحْيَانًا يَتَكَسَّرُ الرِّجَاجُ وَتَتَشَقَّقُ الْجُدُرَانِ .

فَرْقٌ كَبِيرٌ فِي الضَّغْطِ

عِنْدَ مُرُورِ مَوْجَاتِ الصَّوْتِ الْعَادِيَةِ فِي الْهَوَاءِ ، فَإِنَّهَا تُحْدِثُ تَغْيِيرَاتٍ ضَعِيفَةً فِي الضَّغْطِ (الْبُرُوزُ عَلَى الْخَطِّ الْمُنْقَطِ السُّفْلِيِّ) . وَلَكِنَّ الْمَوْجَاتِ فَوْقَ الصَّوْتِيَّةِ الصَّدْمِيَّةِ تُحْدِثُ تَغْيِيرَاتٍ أَكْبَرَ بِكَثِيرٍ ، وَتَبْلُغُ أحيانًا أضعافَ تَغْيِيرَاتِ الْأَصْوَاتِ الْعَادِيَةِ .

تَغْيِيرُ الضَّغْطِ

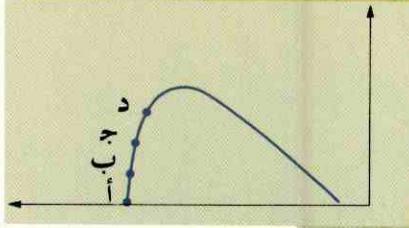
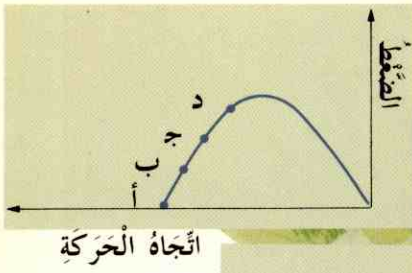
قِمَّةُ مَوْجَةٍ صَوْتِيَّةٍ

صَوْتُ مَسْمُوعٌ

فَرْقَعَةٌ صَوْتِيَّةٌ

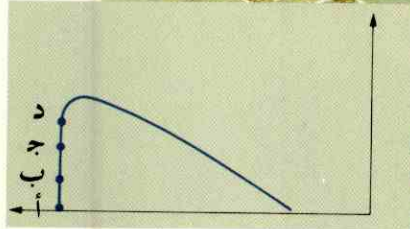
مَوْجَاتٌ صَوْتِيَّةٌ

طَائِرَةٌ نَفَّاثَةٌ



مَوْجَةٌ مُتَغَيِّرَةٌ

هَذِهِ الرُّسُومَاتُ الْبَيَّانِيَّةُ الثَّلَاثَةُ تُوضِّحُ الشَّكْلَ الْمُتَغَيِّرَ لِمَوْجَةٍ صَوْتٍ عِنْدَمَا تَقْتَرِبُ الطَّائِرَةُ مِنْ سُرْعَةِ الصَّوْتِ . فِي أَعْلَى ، صَدْرُ الْمَوْجَةِ مُدْرَجٌ أ ، ب ، ج ، د لِتَبَيِّنِ الْمُنْحَنَى . وَيَزْدَادُ انْحِدَارُ الصَّدْرِ فِي الشَّكْلَيْنِ السُّفْلَيْنِ حَتَّى يُصْبِحَ صَدْرًا مُسْتَوِيًا لِمَوْجَةٍ صَدْمِيَّةٍ (أَسْفَلَ) ، تُحْدِثُ فَرْقَعَةً صَوْتِيَّةً .

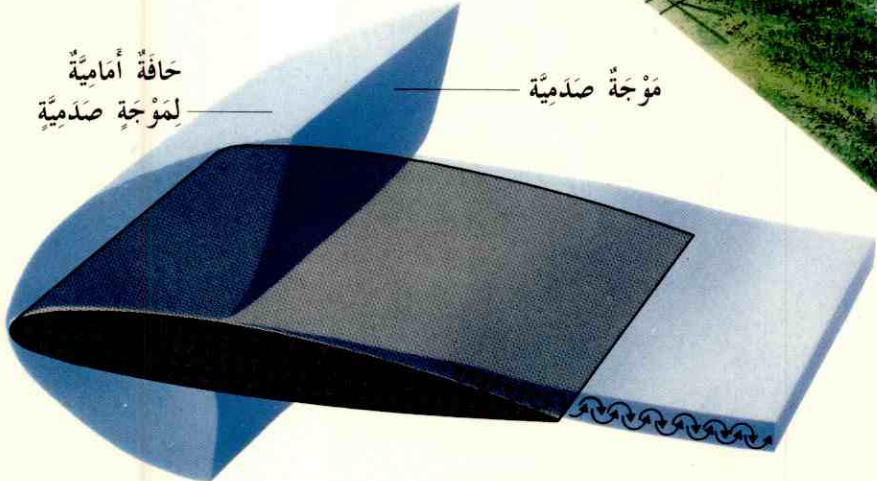


عِنْدَ الْحَافَةِ الْأَمَامِيَّةِ

تَتَكَوَّنُ الْمَوْجَاتُ الصَّدْمِيَّةُ (وَتَدُ أَرْقَ) عَلَى طُولِ مُقَدِّمَةِ جَنَاحِ الطَّائِرَةِ (رِمَادَى) . وَتَتْبَعُهَا التَّيَّارَاتُ الدَّوَامِيَّةُ الْعَنِيفَةُ فِي الْخَلْفِ . وَعِنْدَ السَّرْعَاتِ الْعَالِيَةِ تَمْتَدُّ هَذِهِ الْمَوْجَاتُ إِلَى الْخَلْفِ ، مُحْدِثَةً ضَغْطًا كَبِيرًا عَلَى الْأَجْنَحَةِ .

حَافَةٌ أَمَامِيَّةٌ
لِمَوْجَةٍ صَدْمِيَّةٍ

مَوْجَةٌ صَدْمِيَّةٌ



كَيْفَ يَتِمُّ ضَبْطُ (دَوْرَانَةِ) الآلَاتِ الْمَوْسِيقِيَّةِ؟

صَوْتُ نَعْمَةٍ بَيَانُو

ضَرْبَةٌ

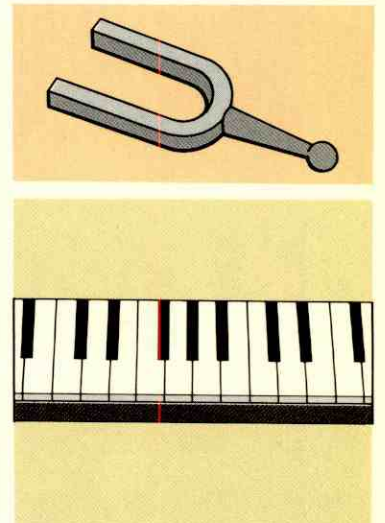
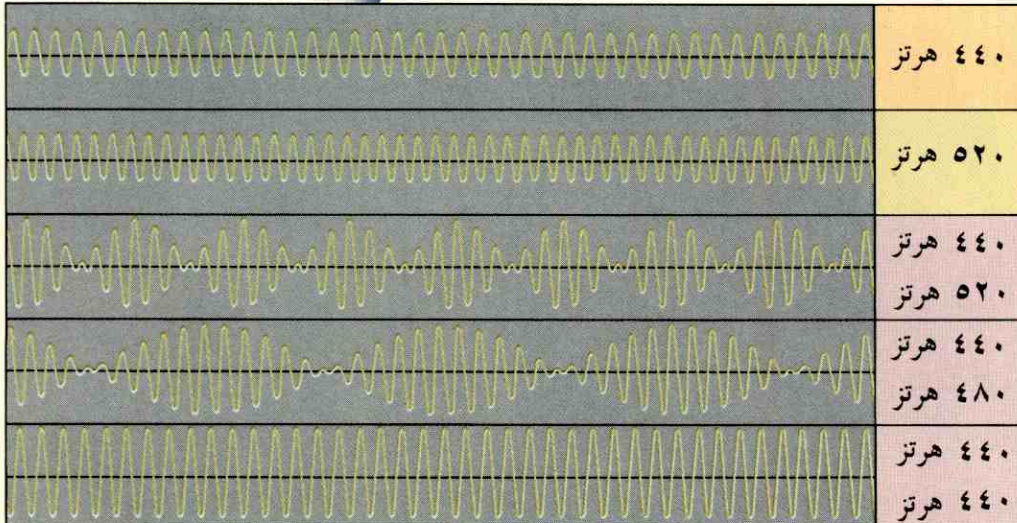
شَوْكَةُ رَنَانَةٍ

فِي بَدَايَةِ أَيِّ حَفْلَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ ، يَضْبُطُ الْمَوْسِيقِيُّونَ فِي الْأَوْرَكِسْتِرَا السِّمْفُونِي أَوْزَانَ آلَاتِهِمْ عَلَى نَعْمَةٍ مُوسِيقِيَّةٍ مُعَيَّنَةٍ يَعْرِفُهَا عَازِفُ الْمَرْمَارِ ، وَبِذَلِكَ يَضْمَنُونَ تَأْلُفَ الْأَلْحَانِ . وَلَكِنْ عِنْدَمَا تَخْرُجُ آلَةُ مُوسِيقِيَّةٍ — مِثْلُ بَيَانُو — عَنْ التَّنَاغُمِ ، فَإِنَّ ذَلِكَ يَتَطَلَّبُ طُرُقًا أَكْثَرَ تَعْقِيدًا . وَبَعْدَ ذَلِكَ ، يَجِبُ عَلَى الْعَازِفِينَ الْمُدْرِينَ شِدَّةً أَوْ إِرْخَاءً أَوْتَارَ كُلِّ مِفْتَاحٍ لِتَتَّفِقَ دَرَجَةُ الصَّوْتِ تَمَامًا مَعَ تَرْدُدِ الشَّوْكَةِ الرَّنَانَةِ الْمُنَاسِبَةِ . وَالشَّوْكَةُ الرَّنَانَةُ هِيَ أَدَوَاتٌ عَالِيَةُ الدَّقَّةِ تُنتِجُ تَرْدُدَاتٍ مُعَيَّنَةً عِنْدَمَا تُطْرَقُ لِتَهْتَزَ . فَمَثَلًا الشَّوْكَةُ الرَّنَانَةُ الْمُصَمَّمَةُ لِتَهْتَزَ عِنْدَ ٢٦٢ هِرْتِزْ — أَوْ حِدَةٍ تَرْدُدٍ — تُنتِجُ النَّعْمَةَ C الْوَسْطَى عَلَى السَّلْمِ الْمَوْسِيقِيِّ الثَّمَانِي ، بَيْنَمَا الشَّوْكَةُ الرَّنَانَةُ الَّتِي تَهْتَزُ عِنْدَ ٤٤٠ هِرْتِزْ تُنتِجُ النَّعْمَةَ A عَلَى نَفْسِ السَّلْمِ الْمَوْسِيقِيِّ ، وَتُسَمَّى النَّعْمَةُ A الْوَسْطَى ، وَتَلْكَ عِنْدَ ٥٢٤ هِرْتِزْ تُنتِجُ جَوَابَ النَّعْمَةِ C الْوَسْطَى (الْجَوَابُ هُوَ ضِعْفُ تَرْدُدِ النَّعْمَةِ) . وَيَنْسَبُ تَرْدُدُ أَيِّ جَوَابٍ إِلَى النَّعْمَةِ الْأَصْلِيَّةِ . وَتَهْتَزُ النَّعْمَةُ الْأَعْلَى ضِعْفَ اهْتِزَازِ النَّعْمَةِ الْأَخْفَضِ تَمَامًا . وَالْمُدْوَرُونَ (ضَابِطُ الْآلَاتِ) الْخَبِيرُ يُمَكِّنُهُ أَنْ يُحَدِّدَ بِمُنْتَهَى الدَّقَّةِ مَتَى تَكُونُ نَعْمَةُ الْبَيَانُو مُطَابِقَةً لِنَّعْمَةِ الشَّوْكَةِ الرَّنَانَةِ . وَعِنْدَمَا تُخْتَلِفُ النَّعْمَتَانِ ، تَتَدَاخَلُ مَوْجَاتُهُمَا ، وَتُسْمَعُ نَبْضَةٌ صَوْتِيَّةٌ ، تُسَمَّى ضَرْبَةً . وَعِنْدَمَا تُخْتَلِفُ الضَّرْبَاتُ ، يَكُونُ الْمِفْتَاحُ فِي تَنَاغُمٍ .

ضَبْطُ نَعْمَةٍ وَتَر

تَهْتَزُ الشَّوْكَةُ الرَّنَانَةُ عِنْدَ ٤٤٠ هِرْتِزْ ، وَيَهْتَزُ مِفْتَاحُ الْبَيَانُو A غَيْرُ الْمَضْبُوطِ عِنْدَ ٥٢٠ هِرْتِزْ . وَعِنْدَمَا تَتَدَاخَلُ النَّعْمَتَانِ (الموجة الثالثة) يُنتِجُ مَوْجَةً مَتَرَاوِحَةً . وَيَضْبُطُ الْمِفْتَاحُ تَدْرِيجِيًّا (الموجة الرابعة) تَظَلُّ الْمَوْجَةُ مُتَقَلِّبَةً . وَعِنْدَمَا تَتَّفِقُ دَرَجَتَا النَّعْمَتَيْنِ (الموجة السفلية)، يُصْبِحُ الصَّوْتُ مُسْتَقِيرًا .

١، ٠ ثَانِيَةً



وَقْتُ اللَّضْبِطِ

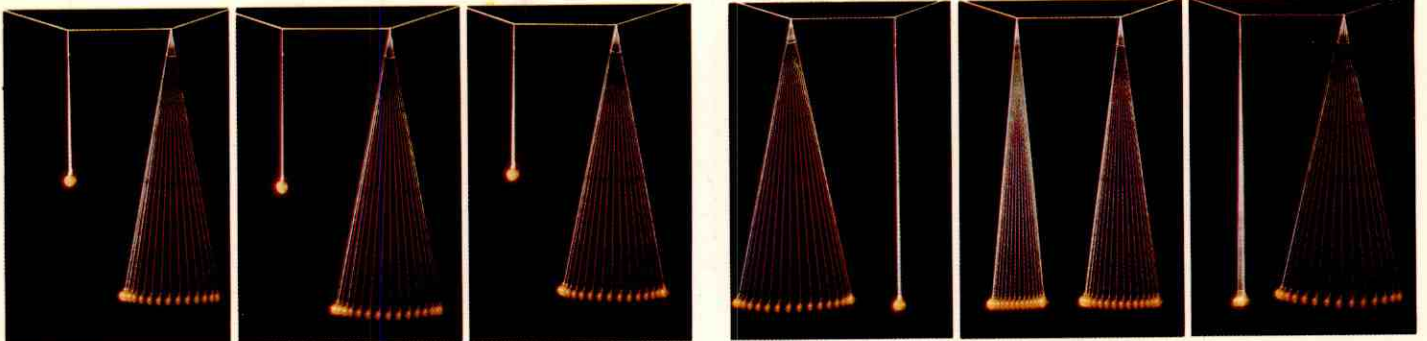
النَّبْضَاتُ الصَّوْتِيَّةُ الْمُتَقَلِّبَةُ النَّاتِجَةُ عَنْ تَدَاخُلِ
مَوْجَتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيْ التَّرَدُّدِ تُوضِّحُ الْحَاجَةَ إِلَى ضَبْطِ
النَّعْمَاتِ ، لِأَنَّهَا تُنتِجُ نَعْمَاتٍ ذَاتَ سِيَاعٍ مُتَغَيِّرَةٍ
(الموجة الثالثة والرابعة) .

صوت شوكة رنانة



الرَّيْنُ

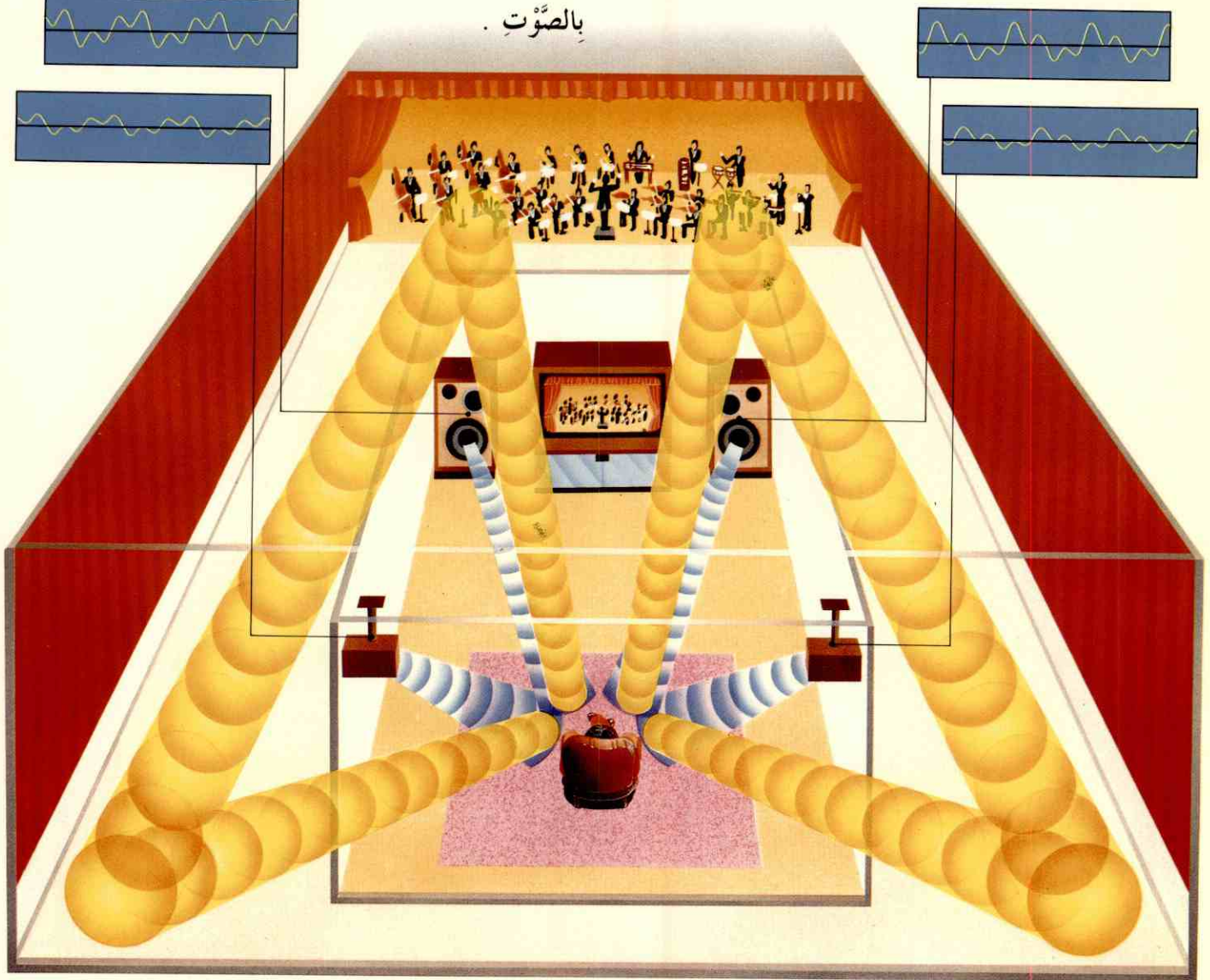
الشُّوْكَةُ الرَّيْنَانَةُ الْمُتَفَقِّةُ الدَّرَجَةَ نَهْتَزُ الْوَاحِدَةَ تِلْوِ
الْأُخْرَى إِذَا طُرِقَتْ إِحْدَاهَا فَقَطْ . وَيَحْدُثُ هَذَا
الرَّيْنُ فِي الْبَنْدُولَاتِ الَّتِي لَهَا نَفْسُ الطُّوْلِ (أَسْفَلَ
يَمِين) . وَلَا تَسْتَجِيبُ الْبَنْدُولَاتُ مُخْتَلِفَةُ الطُّوْلِ
(أَسْفَلَ يَسَار) .



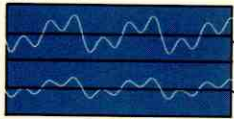
ما هو نظام الصوت المحيط ؟

المؤخرة . ويتمكن مهندسو التسجيل من حذف بعض الأصوات ، وتقوية أصوات أخرى بواسطة معالجات رقمية . وهذا يسمح للمهندسين بأخذ موجات صوتية نقيّة من الآلات ، ثم إدماجها مع تأثيرات الموجات المنعكسة والممتصة بواسطة جذران قاعة الحفل . والتسجيل الناتج يحمل معلومات كافية لإحاطة المستمع بالصوت .

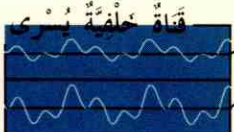
نظام الصوت المحيط يعطى المستمع فى غرفة صغيرة الإحساس بالتواجد داخل قاعة جوفية موسيقية (كونسرت) . وهذا الانطباع يعتمد على تسجيلات معينة ، تُضبط بالحاسب الآلى لتحمل مسارات صوت منفصلة إلى أربع قنوات تغذية فى مكبرات صوت يسار المقدمة ، ويسار المؤخرة ، ويمين المقدمة ، ويمين



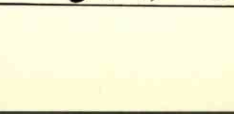
قناة أمامية يمنى



قناة أمامية يسرى



قناة خلفية يمنى



مُخرجات الميكروفون الأيمن (R)

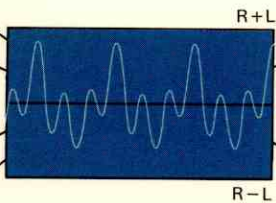


مُخرجات الميكروفون الأيسر (L)



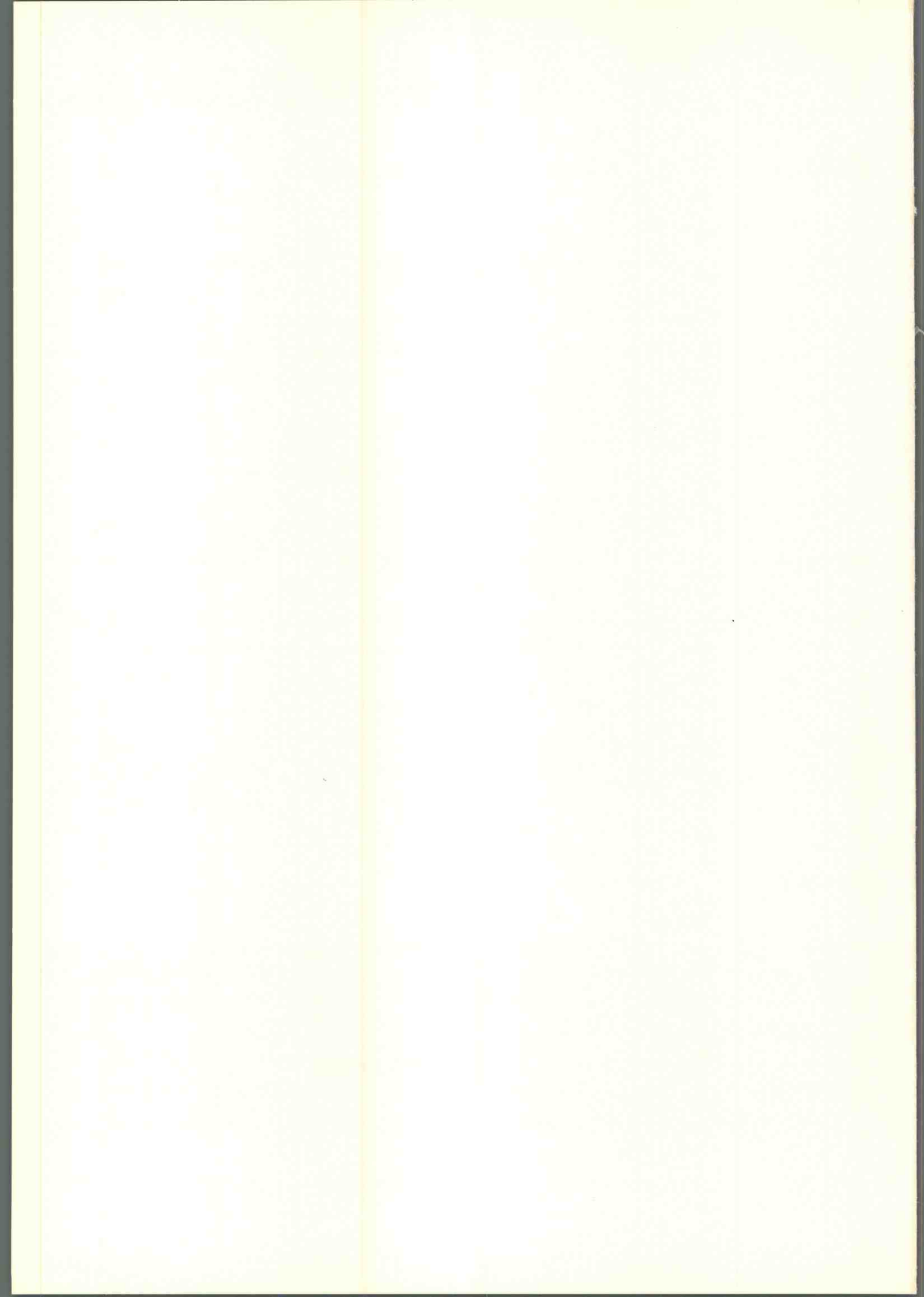
R+L

R-L



إشارات الصوت المحيط

مسار الصوت المحيط يتكوّن من إشارتين : مجموع مُخرجات زوج من الميكروفونات ، والفرق بين هذه المُخرجات مُصنّعة من أحدهما فقط وليس من الآخر .



معاني المصطلحات

Buoyant force : قوة الدفع قوة تعمل إلى أعلى، وتساوى وزن المائع (سائل أو غاز) المزاح بواسطة جسم.

Circuit : دائرة كهربية مسار مغلق يسرى خلاله التيار الكهربى . والدوائر الكهربائية التى بها مقاومات يمكن توصيل المقاومات فيها: على التوازي بحيث تكون عروة متصلة بالدائرة ، أو على التوالى بحيث تتصل المقاومات ببعضها الواحدة تلو الأخرى.

Concave : مقعر سطح منحن للداخل، مثل السطح الداخلى لكرة جوفاء.

Coandensation : تكثيف عملية التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة أو الصلبة .

Conductor : موصل مادة تسمح بمرور التيار الكهربى .

Convectin : حمل عملية تدور فيها الحرارة خلال حجم من السائل أو الغاز .

Convex : محدب سطح منحن للخارج ، كما فى مرآة أو عدسة ، ومثل السطح الخارجى لكرة .

Density : كثافة النسبة بين كتلة الجسم إلى حجمه .

Diffraction : حيود خاصية انحناء موجات الضوء حول حواف جسم تصادفه .

Diode : دايو — ثنائى الأقطاب مُعدّة تسمح بسرّيان التيار الكهربى فى اتجاه واحد فقط.

Direct current : تيار مستمر تيار كهربى يسرى فى اتجاه واحد (موحد الاتجاه).

Doppler effect : تأثير دوبلر ظاهرة يزداد فيها التردد — وبالتالى الدرجة — لموجة صوتية، أو تقل، بالنسبة لمستمع، عند اقتراب مصدر الصوت أو ابتعاده عن المستمع.

Aerodynamics : ديناميكا هوائية دراسة القوى التى تُؤثّر على الأجسام المتحركة فى الهواء .

Airfoil : مسطح هوائى رقيق أى جسم مثل جناح الطائرة، مصمم بحيث يولد رفع عند تحركه فى الهواء .

Alpha particle : جسيم ألفا جسيم يتكون من بروتونين ونيوترونين ينطلق من نوى الذرات أثناء الاضمحلال الإشعاعى .

Alternating current : تيار متردد تيار كهربى يغير اتجاهه.

Amplitude : سعة أقصى ارتفاع لقمم الموجة.

Angular momentum : كمية التحرك الزاوى مقياس لطاقة دوران جسم تعتمد قيمته على سرعة دورانه وكتلته .

Antinode : بطن أعلى نقطة على موجة موقوفة تمثل أقصى سعة.

Atmospheric pressure : ضغط جوى الضغط الناتج عن الهواء الجوى. والضغط الجوى المعتاد عند مستوى سطح البحر يساوى ١٤,٧ رطل لكل بوصة مربعة.

Battery : بطارية خلية تتكون من مواد كيميائية تعمل كمصدر للقوة الدافعة الكهربائية عند توصيلها فى دائرة .

Beta particle : جسيم بيتا جسيم يتكون من إلكترون أو بوزيترون ينطلق أحيانا من نوى الذرات عند الاضمحلال الإشعاعى.

Boiling point : نقطة الغليان درجة الحرارة التى يتحول عندها السائل كله إلى بخار.

Electrons : إلكترونات أحد مكونات الذرة الثلاثة مع البروتون والنيوترون .

Energy level : مستوى الطاقة المدار الذى يشغله الإلكترون عند دورانه حول نواة الذرة.

Evaporation : بخر عملية تحول بطيء للسائل إلى بخار.

Ferromagnetic material : مادة حديدو مغناطيسية مادة كالحديد قابلة للمغطة.

Filament : فتيلة سلك رفيع يتوهج داخل مصباح التوهج عند تسخينه بتيار كهربى.

Fluorescent light : ضوء الفلورسنت ضوء يتولد عندما يثير تيار كهربى ذرات بخار الزئبق، فينبعث منها إشعاع فوق بنفسجى. يسبب توهج مادة كيميائية متفسفرة.

Focal length : بعد بؤرى المسافة بين البؤرة ومركز عدسة أو مرآة .

Focal piont : بؤرة البقعة التى تتجمع عندها موجات الضوء عند انعكاسها على مرآة منحنية أو عندما تمر خلال عدسة.

Fossil fuel : وقود أحفورى أية مادة — قبل زيت البترول أو الفحم أو الغاز الطبيعى — تتكون نتيجة تحلل مواد عضوية منذ ملايين السنين .

Frequency : تردد عدد قمم موجة متحركة التى تمر بنقطة معينة فى الثانية الواحدة.

Friction : احتكاك قوة تُعطل حركة الأجسام فيما بينها.

Drag : مقاومة قوة الاحتكاك التى تقاوم حركة جسم فى الهواء.

Elastic limit : حد المرونة القوة القصوى التى عندها يستعيد زنبرك — مشدود أو مضغوط — شكله الأصلى، والتى بعدها يتغير شكل الزنبرك تغيرا مستديما.

Electricity : كهرباء المجال الناتج عن شحنة كهربية ، فالشحنة الساكنة ينتج عنها كهربية ساكنة (استاتيكية)، أما الشحنة المتحركة فينتج عنها تيار كهربى.

Electromagnet : مغناطيس كهربى مغناطيس يصنع بلف سلك يحمل تيارا كهربيا حول مادة حديدو مغناطيسية، فينشأ لها مجال مغناطيسى .

Electromagnetic induction : حث كهرومغناطيسى ظاهرة يُسبب فيها مجال مغناطيسى متغير سريان تيار فى موصل قريب بالحث .

Electromagnetic radiation : إشعاع كهرومغناطيسى طاقة على صورة موجات كهرومغناطيسية أو فوتونات، تسير بسرعة الضوء ، وتولد مجالات كهربية ومغناطيسية أثناء تقدمها. وتناسب طاقة الموجات الكهرومغناطيسية عكسيا مع طول الموجة. وأشعة جاما لها أعلى طاقة وأقصر طول موجة، تليها فى اتجاه نقصان الطاقة وكبر طول الموجة الأشعة السينية، ثم الأشعة فوق بنفسجية، فالضوء المرئى، فالأشعة تحت الحمراء، ثم موجات الراديو.

Electromotive force (Voltago) : قوة دافعة كهربية (فولطية) القوة التى تدفع الإلكترونات فى دائرة كهربية فتنتج تيارا.

Insulator	: عازل موصل رديء للحرارة أو الكهرباء.
Interference	: تداخل خاصية الضوء التي تُقوى فيه موجاته بعضها البعض أو تلغى بعضها البعض عند تقابلها.
Kinetic energy	: طاقة الحركة مقياس لطاقة حركة الجسم ، فكلما زادت سرعة الجسم كلما زادت طاقة حركته.
Laser	: مُعدَّة ينتج عنها شعاع ضوء قوى ذو طول موجى واحد.
Light	: ضوء إشعاع كهرومغناطيسى تقع طول موجته بين ٠,٠٠٠٠١٥ ، ٠,٠٠٠٠٣ بوصة تستقبله العين على هيئة ألوان عندما تسقط عليها.
Magnetic field	: مجال مغناطيسى المنطقة التي تظهر فيها قوة الجذب أو التنافر لمغناطيس.
Magnetic pole	: قطب مغناطيسى أطراف المغناطيس المسماة شمالي وجنوبي، والتي عندها يخرج أو يتجمع المجال المغناطيسى.
Magnetism	: مغناطيسية قوة جذب أو تنافر بين جسمين جزئياتهما مرئية بحيث تولد مجالا مغناطيسيا.
Mass	: كتلة مقياس لكمية المادة في جسم. وتعين بميله لمقاومة التسارع (العجلة).
Mechanical advantage	: فائدة ميكانيكية الدرجة التي تغير بها آلة بسيطة الجهود إلى شغل.
Neutrino	: نيوترينو أحد مركبات الذرة التي لاتحمل شحنة، وليس لها كتلة، أو كتلتها صغيرة جدا.
Neutrons	: نيوترونات من مكونات الذرة الثلاثة مع البروتونات والإلكترونات، والنيوترون لا يحمل شحنة، ويوجد في نواة الذرة.
Node	: عقدة نقطة في الموجات الموقوفة حيث تكون سعتها مساوية للصفر.

Fundamental tone	: نفخة أساسية الصوت الناتج عن أكبر طول موجى لموجة موقوفة في الآلات الموسيقية . وهى أقل تردد للصوت الصادر .
Gear ratio	: نسبة تعشيق التروس النسبة بين أحجام التروس أو عدد أسنان (مسننات) لترسين سواء معشقين أو متصلين بواسطة جنزير .
Geiger counter	: عداد جيجر مُعدَّة لقياس النشاط الإشعاعى عن طريق عد عدد نواتج الاضمحلال الإشعاعى المشحونة التى تسقط عليه.
Generator	: مُولّد أية آلة تحول الحركة الميكانيكية إلى تيار كهربى.
Geothermal power	: قدرة جيولوجية استخدام البخار الناتج طبيعيا من الآبار العميقة داخل باطن الأرض ليدير تربينا لتوليد الكهرباء .
Gravitational field	: مجال جاذب المنطقة التي تظهر فيها قوة الجاذبية لجسم .
Gravity	: جاذبية القوة المسئولة عن الجذب المتبادل بين كتل متباعدة. وقوة الجذب بين جسمين تتناسب مع كتلتهما وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.
Ground state	: الحالة الأرضية (المستقرة) المستوى الأدنى لطاقة الإلكترون فى ذرته.
Heat of transformation	: حرارة التحول الطاقة اللازمة لمادة لكى تتحول من حالة إلى أخرى.
Incandescent light	: ضوء متوهج الضوء الناتج عن تسخين فتيلة رفيعة كهربيا، إذ إنها عندما تسخن الفتيلة بدرجة كافية فإنها تعطى ضوءاً .
Inertia	: قصور ذاتى عجز الجسم عن تغيير حالته من سكون أو حركة من تلقاء نفسه.

Phosphor : مادة متفسفرة مادة كيميائية ينبعث منها ضوء عند إثارة ذراتها بإشعاع .

Positron : بوزيترون أحد مكونات الذرة، وله نفس كتلة الإلكترون ولكن شحنته موجبة.

Prism : منشور مُعدّة تحلل الضوء إلى مكوناته اللونية: الأحمر — البرتقالي — الأصفر — الأخضر — الأزرق — النيلي — البنفسجي .

Propellant : مسيرات مادة تولد دفعا عند احتراقها — مثل الوقود المستخدم في الصواريخ .

Protons : بروتونات أحد مكونات ثلاثة للذرة مع النيوترونات والإلكترونات. وتوجد البروتونات في نواة الذرة، ولها شحنة موجبة.

P-type silicon : سيليكون موجب النوع سيليكون-P سيليكون شحنته الكهربائية موجبة .

Radioactivity : نشاط إشعاعي طاقة متحررة عند تحلل نواة الذرة .

Real image : صورة حقيقية الصورة المتكونة بواسطة عدسة أو مرآة حيث تلتقي أشعة الضوء .

Reference wave : موجة مرجعية حزمة من ضوء الليزر تستخدم في عمل الهولوغرام، إذ تسقط على نفس الفيلم مثل الموجة الجسمية ولكنها لا تنعكس على الجسم المراد تصويره .

Reflection : انعكاس خاصية الضوء أو الصوت التي يترد بها على الأسطح .

Refraction : انكسار خاصية الضوء أو الصوت التي يغير فيها اتجاهه عند انتقاله من وسط إلى آخر .

Scintillation counter : عداد وميض مُعدّة تعطي إشارة كهربية عند سقوط جسيمات مشحونة عليها .

N-type silicon : سيليكون سالب النوع — سيليكون-N : سيليكون يحتوي على فائض من الإلكترونات .

Nuclear energy : طاقة نووية طريقة للحصول على الكهرباء حيث تستخدم الحرارة الناتجة عن الانشطار النووي لغلي الماء ليعمل البخار الناتج على إدارة تربين .

Nucleus : نواة مركز الذرة الذي تدور حوله الإلكترونات وتحتوي على بروتونات ونيوترونات الذرة .

Objective lens : عدسة شبيثة العدسة في بعض التلسكوبات التي تكون صورة يراها المشاهد.

Object wave : موجة جسيمية حزمة من أشعة الليزر المستخدم في عمل الهولوغرام.

Ocean thermal power : قدرة حرارية للمحيطات طريقة للحصول على الكهرباء حيث تبخر مياه سطح المحيط سائلا نقطة غليانه منخفضة ليستخدم بخاره الناتج في إدارة تربين .

Ocular lens : عدسة عينية عدسة تستخدم للنظر خلالها بالعين.

Oscilloscope : راسم الذبذبات — أو سيلوسكوب: جهاز يعمل على تحويل الموجات الضوئية إلى إشارات إلكترونية ويظهرها على شاشة لتحليلها.

Overtone : نغمة توافقية صوت ناتج عن موجة موقوفة لها طول موجي يساوي كسرا معينا من نغمتها الأساسية.

Oxidant : عامل مؤكسد جزء من وقود الصاروخ يمدد بالأكسجين اللازم لإتمام حرق الوقود.

Thermal conductivity : الموصلية الحرارية مقياس لكيفية توصيل الحرارة — إما جيدا أو رديئا .

Thermal energy : طاقة حرارية كمية الطاقة الداخلية التي تحتوى عليها المادة، وهي مجموع طاقة الحركة لجزيئات المادة، وتدل عليها درجة حرارتها .

Thermoelectric power : قدرة كهروحرارية طريقة لتوليد الكهرباء، حيث يتحول الماء إلى بخار بالحرارة الناتجة عن حرق وقود أحفوري . ويعمل هذا البخار على إدارة ريش (عوارض) تربين .

Timbre : جرس الصوت المميز لآلة موسيقية . وهو نتاج مدى النغمات للآلة الموسيقية والمواد الداخلة في تركيبها .

Torque : عزم الدوران القوى التي تعمل على دوران جسم .

Transition point : نقطة الانقلاب — نقطة التحول وهي درجة الحرارة التي يفقد عندها موصل كهربى مقاومته، ويصبح فائق التوصيل .

Transverse wave : موجة مستعرضة الموجة التي يتحرك فيها الوسط عموديا على اتجاه تقدم صدر الموجة .

Vaporization : التبخير — التصعيد عملية التحول من الحالة السائلة إلى الحالة البخارية (الغازية) .

Vapor pressure : ضغط البخار الضغط الناشئ بالقرب من سطح السائل عن جزيئاته المتبخرة .

Vector : متجه كمية لها مقدار واتجاه .

Virtual image : صورة تقديرية صورة تتكون بواسطة عدسة أو مرآة تفرق الأشعة الساقطة عليها . من مصدر ضوئى .

Semiconductor : شبه موصل مادة — مثل السيليكون — يمكنها توصيل أو إيقاف سريان الكهرباء .

Solar power : قدرة شمسية عملية توليد الكهرباء من الشمس ، إذ تستخدم حرارة الشمس لتحويل الماء إلى بخار ليدير تربيناً، أو يستخدم ضوء الشمس لتغذية خلية شمسية لتعطي كهرباء .

Solenoid : ملف لولبي (حلزوني) ملف من سلك ملفوف حول مادة حديدومغناطيسية لعمَل مغناطيس كهربى .

Sonic boom : فرقة صوتية صوت مرتفع ينتج عن تمدد جزيئات الهواء عند زيادة سرعة جسم على سرعة الصوت .

Sound wave : موجة صوتية موجة ميكانيكية عبارة عن تضاعفات وتخلخلات في الوسط عند انتقال الموجة خلاله .

Static electricity : كهرباء ساكنة — استاتيكية تجمع من شحنات سالبة . أو موجبة على جسم نتيجة اكتسابه إلكترونات أو شحنات موجبة أو بفقده إلكترونات .

Superconductivity (موصلية فائقة — فرط الموصلية) ظاهرة توصيل بعض المواد للكهرباء دون مقاومة عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة .

Sympathetic vibration : اهتزاز متوافق — رنينى ظاهرة تحدث فيها موجات صوتية صادرة عن جسم مهتز — مثل شوكة رنانة — جسما مشابها قريبا كى يهتز .

Temperature : درجة الحرارة مقياس غير مباشر لمتوسط سرعة اهتزاز جزيئات المادة .

Viscosity	: اللزوجة خاصية مقاومة السائل لسريانه نتيجة الاحتكاك بين جزيئاته .
Voltage	: جهد — فولطية هو الذى يعمل على تحريك الإلكترونات وتعجيلها فى دائرة كهربية فيسرى تيار .
Voltage drop	: هبوط الجهد انخفاض فى جهد دائرة يحدث عند مرور تيار فى مقاومة .
Voltmeter	: فولتيمتر جهاز لقياس الجهد الكهري .
Volume	: حجم الحيز الذى تشغله المادة .
Wave front	: صدر الموجة القمة المتحركة لموجة .
Wevelength	: طول الموجة المسافة بين قمتين متتاليتين لموجة .



دائرة معارف القرن الحادى والعشرين للعلوم والتكنولوجيا المتطورة والطبيعة

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| ١ عصر الحاسب الآلى (الكمبيوتر) | ٦ بنية المادة |
| ٢ الفضاء والكواكب | ٧ وسائل النقل والمواصلات |
| ٣ القوى الفيزيائية | ٨ الجغرافيا |
| ٤ علم البيئة | ٩ حياة النبات |
| ٥ سلوك الحيوان | ١٠ الآلات والاختراعات |

الأستاذ أسامة عبد الكريم السكرى وكيل أول وزارة التربية والتعليم (سابقاً)
الأستاذ الدكتور حسن محمد عبد الشافى وكيل أول وزارة التربية والتعليم
الأستاذ عبد الجليل حماد وكيل وزارة التربية والتعليم

الإشراف
العام
العلمى
واللغوى
والتربوى

الأستاذة بكلية الهندسة والعلوم والآداب والتربية والبنات بجامعات القاهرة وعين شمس والأزهر والألكندرية

أ.د. محمد أديب رياض غنيمى	أ.د. محيى الدين عبد اللطيف قناوى	أ.د. منصور محمد حسب النبى
أ.د. مراد إبراهيم الدسوقي	أ.د. محمد أحمد حمودة	أ.د. محمد سمير عبد المعز
أ.د. محمد صابر سليم	أ.د. فتحى محمد أبو عيانة	أ.د. علاء الدين بهجت

المراجعة
العلمية
المتخصصة

المترجمون المتخصصون والأعضاء بالمنظمات العربية والتعليم

أ. جمال سليمان عبد الرحيم	أ. عبد الرؤوف محمد حسنين	أ. ريهام أسامة السكرى
أ. غادة أسامة السكرى	أ. محمد نبيل عبد الله محمود	أ. ميسرة محمد عبد الرحمن
أ. صفوت عبد الحافظ صابر		

الترجمة

عادل البطرأوى

المستشار الفنى

أحمد عارف حسن الزين

مستشار الطباعة

٣٣ شارع قصر النيل. تليفون: ٣٩٢٢١٦٨ / ٣٩٣٤٣٠١ / ٣٩٢٤٦١٤
ص.ب.: ١٥٦ - الرمز البريدي: ١١٥١١ - برقى: كتامصر - القاهرة
تلكس: ATT: Mr. Hassan El - Zein 23881, 22481 - القاهرة
فاكسيلي ٣٩٢٤٦٥٧ (٢٠٢) 3924657 FAX:

دار الكتاب المصرى
القاهرة

شارع مدام كوري - تجاه فندق بريستول - بيروت
تليفون: ٣٥١٤٣٣
صندوق بريد: ٨٣٣٠ - ١١ بيروت - لبنان. برقى: داكلان
فاكسيلي ٣٥١٤٣٣ (٩٦١١) 351433 FAX: (9611)

دار الكتاب اللبنانى
بيروت

TELEX: DKL 23715 LE ATT: Mr. HASSAN El - ZEIN

Time - Life Books Europe
Ottho Heldringstraat 5
1066 AZ Amsterdam
The Netherlands

Tel : 5104911
Fax: 6140438

TREVOR LUNN
HANS BERGMANS

رئيس تنفيذى
مدير تنفيذى



كتب تايم لايف

يمنع الاقتباس والنقل والترجمة والتصوير
إلا بإذن خاص من الناشرين

الطبعة الأولى ١٤١٧ هـ - ١٩٩٧ م
رقم الايداع: AD 1997 - H 1417
I.S.B.N. 977 - 238 - 647 - 6 ٩٥ / ٧٠١٦

"Authorized Arabic language edition ©1996
Time - Life Books Europe and
Dar Al-Kitab Al- Masri .
Original Japanese language edition ©1993
All rights reserved."